IEICE B plus

電子情報通信学会
通信ソサイエティマガジン

夏

2011／No.17

子どもと遊ぶ
実験・工作教室
ゲルマラジオを作ろう

子どもに教えたい
通信のしくみ
電波時計のしくみ

小特集

通信技術で医療の世界が変わる

ICT技術で，世界一健康で，世界一お年寄りが元気な国へ

開発物語
ISDNの標準化

若者よ！ 世界にでよう！
ストックホルム滞在記〔第４回（最終回）〕
留学経験を生かすには

技術と制度のおはなし
IP電話端末の技術基準整備

私の技術者歴
デジタル放送の研究開発と海外普及に賭けて

街plus探訪
Россия, Я тебя любрю...
～ ICT 分野から垣間見る，ロシア・モスクワ～

IEICE
Communications Society

IEICE B-plus
電子情報通信学会
通信ソサイエティマガジン

通信ソサイエティマガジン B-plus 年間購読申込用紙（17号～20号）

申込及び支払方法

必要事項をこの申込書へ御記入の上, 下記までFAX若しくは電子メールの添付ファイル（PDF）にて学会事務局まで御送付下さい. 請求書同封で冊子をお送り致します. お支払いは同封の請求書にてお願い致します.

■ 通信ソサイエティマガジンの年間購読（4 冊/年）: 3,600円

見積書日付　年　月　日	請求書日付　年　月　日
納品書日付　年　月　日	
送付先　〒　（部課名, 研究室名まで御記入下さい）	
電話番号	電子メール
事務局への通信欄	

※購読を開始されましたら, 文書による中止届出がない限り, 次年度以降も自動的に継続されますので御注意下さい.

申込書送付先/連絡先

〒105-0011　東京都港区芝公園3-5-8　機械振興会館内
（社）電子情報通信学会　出版事業部　通信ソサイエティマガジン担当

FAX：03-3433-6616

電話：03-3433-6692　E-mail：b-plus@ieice.org

小特集
IEICE Communications Society Magazine
Special Issue

小特集の発行にあたって

編集チームリーダ　庄木裕樹

我が国は世界一の長寿国になり，人口に対する高齢者の比率はますます高くなっています．そして，2030 年には 65 歳以上の比率が 30% を超えるとの予想もあります．同時に少子化・高齢化が社会に与える問題も大きくなり，社会を支える若年層の負担が増える，医療費負担が増えるなどの問題が発生します．皆さん，その 2030 年の世界を想像したことがありますでしょうか？ 街のどこを見ても，つえをついた，何か病気に悩んでいる高齢者があふれているのでしょうか？ そして，ひょっとして私や皆さんがその一人になっているかもしれません．

通信技術で医療の世界が変わる

～ICT技術で，世界一健康で，世界一お年寄りが元気な国へ～

このような状況で，医療やヘルスケアの分野の研究者・技術者は手をこまねいているわけではありません．最新技術を取り込み，病気の早期発見やより効果的な治療，高齢者へのサポートなどに応用しようと，多くの人たちが奮闘しています．情報通信技術（ICT：Information and Communication Technology）も例外ではありません．これまで携帯電話やインターネットなどの高速化やサービス向上のために培ってきた技術を医療やヘルスケアの現場にもどんどん取り込んでいこうとしています．この特集号では，その技術開発や医療やヘルスケア分野への応用の一端について紹介します．例えば，血圧や心電図などのバイタルデータ（生体情報）が無線ネットワークで常にチェックしてもらえるのでどこに行っても安心なシステム，普段の生活をしながら体に負担なく胃腸の検査ができるカプセル内視鏡，手術が必要になっても高精度な画像でモニタしながら施術できる信頼できる手術用ロボットシステムなどを始め，ICT 技術は様々に広く利用されるでしょう．また，もし体が不自由になったり記憶力が多少低下しても，アシストロボットのサポートでどこへでも行って普通に活動できるでしょう．

さあ，皆さん，2030 年の世界を今度はどのように想像しますか？ きっと，ICT 技術を活用することにより，我が国は世界で一番健康で，高齢者は世界一元気な国になっているでしょう．このようなことを期待しながら，この特集号の解説や解説論文を読んで頂ければと思います．そして，特に若い方の中で，このような分野の研究開発に飛び込んで，将来の社会に貢献していこうという方が少しでも増えてくれれば大変うれしいと思います．

【小特集編集チーム】 庄木裕樹，朝香卓也，神尾享秀，馬杉正男，松田崇弘

© 電子情報通信学会 2011

B plus IEICE
電子情報通信学会
通信ソサイエティマガジン
夏
2011/No.17

CONTENTS

小特集　通信技術で医療の世界が変わる
～ICT技術で, 世界一健康で, 世界一お年寄りが元気な国へ～

1　小特集の発行にあたって ―― 編集チームリーダ　庄木裕樹

8　解　説　無線通信により実現される安心・安全な未来医療・ヘルスケア社会 ―― 浜口　清

13　解説論文　医療機関内ネットワーク高度化に向けた無線通信技術の利用 ―― 萩原浩明／滝沢賢一

21　解説論文　バイタルセンサの臨床データ取得とそのユビキタス健康監視への応用 ―― 原　晋介

26　解　説　カプセル内視鏡の現状と将来に向けて ―― 穂満政敏／滝沢賢一

31　解　説　手術用ロボットシステムから見た無線通信技術への期待 ―― 大森　繁／滝沢賢一

36　解説論文　Thermal Therapy実用化のためのアンテナ技術と課題 ―― 伊藤公一

4 子どもに教えたい通信のしくみ
電波時計のしくみ ―― 岩間　司

6 若者よ！ 世界にでよう！ ストックホルム滞在記〔第4回（最終回）〕
留学経験を生かすには ―― 山本高至

44 解　説
鉄道における通信システム ―― 中村一城／川﨑邦弘

54 解説：技術と制度のおはなし
IP 電話端末の技術基準整備 ―― 篠澤康夫

59 街 plus 探訪
Россия, Я тебя любрю...
～ICT分野から垣間見る，ロシア・モスクワ～ ―― 中川拓哉

63 開発物語
ISDNの標準化 ～パイオニアとしての先駆的な役割とその限界～
―― 加納貞彦／北見憲一

70 子どもと遊ぶ実験・工作教室
ゲルマラジオを作ろう ―― 小瀬木滋

77 私の技術者歴
デジタル放送の研究開発と海外普及に賭けて ―― 山田　宰

87 巻末言
フレキシビリティの挑戦 ―― 萩本和男

Infomation
通信ソサイエティからのお知らせ

第6回 通信ソサイエティ論文賞 ～受賞論文と総評～
通信ソサイエティ編集会議 ………… 74

編集後記 ………… 88

B-plusに掲載された論文などの著作権は（社）電子情報通信学会に帰属します.

子どもに教えたい 通信のしくみ

電波時計のしくみ

独立行政法人情報通信研究機構　岩間　司
Tsukasa Iwama

ま え が き

いつでも正確な時刻を表示できるといわれている電波時計．でも「あれ，うちの時計は電波時計なのに時刻がずれている.」といった経験はありませんか．そもそも電波時計はどうして正確な時刻を表示できるのでしょうか？

今回は，電波時計が動くしくみと正確な時刻を表示できるしくみを解き明かし，電波時計の正しい使い方について学んでいきましょう．

時計が動くしくみ

電波時計のしくみの前に，まず時計がどのようにして時刻を表示することができるのか考えてみましょう．時計が正確な時間を刻む大本にあるのは正確な振動を発生する部分です．例えば，壁掛け時計の振り子，機械式時計のテンプ，またクォーツ時計では水晶振動子がこの正確な振動を生み出す元になっています．

最初に振動を発生する部分で n 回の振動で 1 秒になるように振動の周期を調整します．次にこの振動の回数を積算して時間に変換，例えば $63n$ 回振動したなら 1 分 3 秒というように変換することで時・分・秒を表示することが可能になります．この振動から秒（s）や分（min）を作るしくみを図 1 に示します．

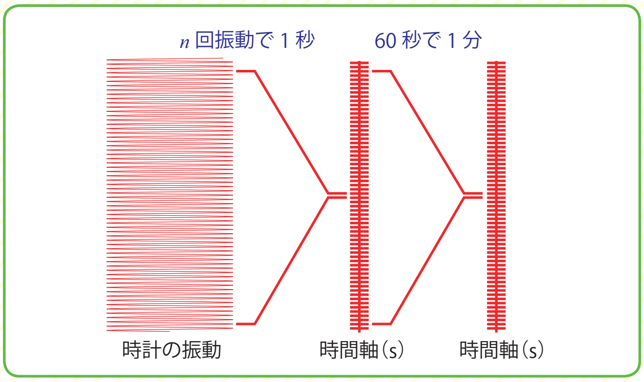


図 1　時計が時間を作るしくみ

このことから，正確な時刻を示すためにはまずは正確な振動を発生させて正確な時間を作り出すことが重要だということが分かります．そしてその正確な振動数の積算から変換された時・分・秒を表示することが時計の原理となります．

時間と時刻

次に時間と時刻について考えます．時間と時刻についてはいろいろな定義がありますが，ここでの考え方として時間軸という一種の物差しで例えます．すると，時間とは時間軸の目盛りと目盛りとの間隔，時刻とは時間軸に刻んである目盛りそのものの値になります．

時間や時刻は，もともと地球の自転を基に決められていました．単純に言うと，太陽が真南に来たら 12 時，翌日太陽が真南に来るまでの時間を 1 日 = 86,400 秒として，1 秒の長さを決めていました．しかし，精密に観測すると地球の自転は安定していないことが分かりました．そこで，より精度良く 1 秒の長さを決めることができるものとして，1967 年にセシウム原子の振動数を利用することが国際的に定義されました．

更に，時刻については 1958 年 1 月 1 日 0 時のそれまでの天文による時刻（世界時）を原点として，原子の振動数を基にした国際原子時が開始されました．この国際原子時に 1 秒単位で時間をずらし，世界時との差が 0.9 秒以上にならないように「うるう秒」によって調整した時刻が協定世界時（Coordinated Universal Time：UTC）です． UTC は現在の世界の時刻の基準として使われています．

先ほどのしくみの時計で正確な時間を得るためには，非常に正確な振動を発生させる必要があります．例えば 10 万分の 1 の誤差がある振動子を用いた場合，10 万秒で 1 秒の狂いが生じる，すなわち，1 日が 86,400 秒ですから，1 日と 3 時間 46 分 40 秒で 1 秒の狂いが生じる時計ということになります．つまり，どんなに精度が高い時計を用いても誤差が 0 でない限り時間が経てば狂いが生じます．このことから時計に正確な時刻を表示させるためには，まず基準となる時刻に合わせ，その後も定期的に時刻合わせを行う必要があることが分かります．先ほどの 10 万分の 1 の誤差がある振動子を用いた時計の場合，1 日に 1 回時刻を合わせることで誤差 1 秒以下の正確な時刻を表示する時計となります．

電波時計とは？

それでは電波時計はどのようなしくみで動いているのでしょうか？　電波時計といっても常に電波を受信して動いているわけではありません．基本は通常の時計と同じで内部の振動子の振動を基に動いています．そして毎日，定期的に標準電波を受信して時刻合わせを行っています．前節で説明したように，正確な時刻を表示するためには，時計の精度に合わせて定期的に時刻合わせをする必要がありますが，電波時計は，定期的な時刻合わせを標準電波で自動的に行います．標準電波は，タイムコードと呼ばれるコードを 1 秒に 1 パルスの割合で送信し，図 2 に示すように 1 分かけてすべての情報を送出します．そして各パルスの立上りが正確な秒の時刻になります．

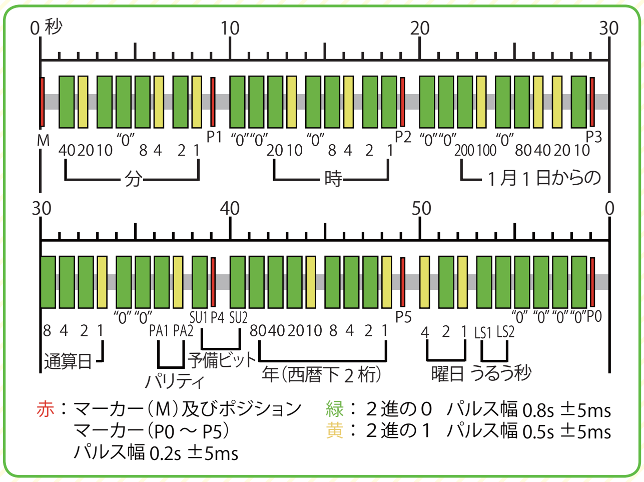


図２　タイムコード
（2011 年 6 月 10 日金曜日 14 時 25 分の例）

電波時計とは，標準電波を受信して受信したタイムコードで日時や曜日などを設定し，パルスの立上りを利用して正確な秒を設定することにより自動的に時刻を合わせることができる時計です．時刻合わせはそれぞれの時計の時刻がずれないようなタイミングで行われます．このため，電波時計はいつでも正確な時刻を表示することができます．

このことから「時刻がずれる電波時計」の理由も見えてきます．時刻がずれるということは，時計が正常ならば標準電波の時刻がずれているか，標準電波が受信できていないということなのです．それでは，標準電波は本当に正しいのか，どうしたら標準電波を受信しやすくなるかについて考えてみます．

日本標準時と標準電波

標準電波の大本は，日本標準時です．日本標準時は東京都小金井市にある独立行政法人情報通信研究機構（NICT：National Institute of Information and Communications Technology）から供給されている標準時で，NICT が生成・維持・供給する協定世界時 UTC（NICT）を 9 時間進めた時刻です．日本標準時は，24 時間以下の短期間の周波数安定度に優れた水素メーザと呼ばれる原子時計 4 台から作られた周波数を，24 時間超の長期間の周波数安定度に優れたセシウム原子時計 18 台を用いて調整して生成しています．また UTC（NICT）は国際時刻比較ネットワークを通じてフランスにある国際度量衡局へ送られます．国際度量衡局では，世界中の時刻標準機関で同様に生成された時刻データを集め UTC の決定を行っています．すなわち，日本標準時は世界の時刻の標準である UTC 決定の一翼を担っているわけです．また決定された UTC と UTC（NICT）との差は NICT にフィードバックされ，NICT ではこの差が ± 10 ナノ秒（1 ナノ秒は 10 億分の 1 秒）以上にならないように UTC（NICT）を維持・管理しています．

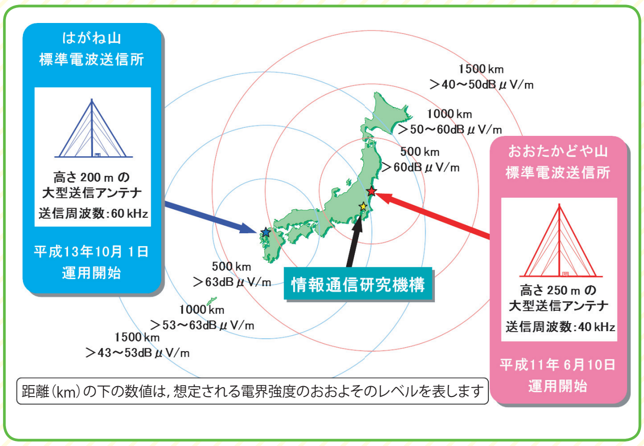


図３　標準電波送信所

標準電波は，この日本標準時に同期して図 3 に示す福島県にある「おおたかどや山標準電波送信所」と佐賀県と福岡県の県境にある「はがね山標準電波送信所」から送信されています．日本標準時と標準電波との同期は厳密に管理され，24 時間体制で監視されています．このことから電波時計の時刻のずれは標準電波が受信できないことに原因がありそうです．

標準電波の性質

標準電波は図 3 にあるように，送信周波数 40 kHz または 60 kHz というういわゆる長波帯に分類される電波を使用しています．長波帯の電波の性質から，地表での伝搬は安定していますが，金属を含む人工物による遮蔽の影響を受けやすく鉄筋のビル内や地下街など，電波を遮蔽する建物内では受信が困難です．またこの周波数帯は人工的な雑音も多く，テレビ，エアコン，蛍光灯などのインバータ，パソコンなど雑音発生源が多岐にわたります．ここで注意しなければならないのは一見何もないような壁面においても壁の内側の電灯線から雑音が出ている場合があります．電波時計の時刻がずれる場合の多くはこのような雑音の影響によるものなのです．

む　す　び

今回は，電波時計のしくみと正確な時刻が表示できるわけについて説明してきました．電波時計とは，標準電波を受信することで自動的に時刻合わせを行う機能を持つ時計のことです．また標準電波は日本標準時に同期しており，地表での伝搬は安定していますが，鉄筋のビルなどによる遮蔽や人工的な雑音の影響を受けやすい性質を持っています．このため，電波時計の時刻が狂う場合は，電波がうまく受信できていないときです．この場合はいろいろと受信位置を変えて正しく受信できる場所を探す必要があります．

最近では太陽電池を組み込んだ時計も出てきており，電波時計と組み合わせることで日常生活の中で自動的に時刻合わせと充電を行うことができる非常に便利な時計も多く販売されています．

参　考

時計のしくみについては
- 社団法人日本時計協会，http://www.jcwa.or.jp/ など

標準電波については
- 日本標準時グループ，独立行政法人情報通信研究機構，http://jjy.nict.go.jp/

連載企画

若者よ！世界にでよう！ 第4回（最終回）

ストックホルム滞在記
～留学経験を生かすには～

京都大学
山本高至
Koji Yamamoto

1. ま え が き

スウェーデン・王立工科大学での在外研究は2009年3月まででしたので，帰国後ほぼ2年経過したところです．2010年9月の国際会議で，受け入れて頂いていたJens Zander教授や研究者ら5名と初めて再会しました．また，2010年11月に王立工科大学を訪問し，帰国後に続けた研究結果を報告し，今後の研究計画に関してディスカッションを行いました．それらの場で最も感じたことは，日本でない環境に身をおき，身をもって様々なことを感じる状況にあったという感覚自体を，既に忘れていたことでした．

留学前は，日本と違うことを体験し，特に欧米の方が優れていると思われることを学び，日本での生活にどんどん取り入れていけばよいと思っていました．しかし，その違いが生まれる理由を考えると，国ごとに固有でほぼ不変の歴史的な事柄，宗教的な事柄に行き着いてしまうことがあり，容易に導入することはできないと考えるようになりました．それでも，留学の体験を生かす方法がないはずはありません．

連載最終回の今回は，日本と比べて欧米の方が一見優れていると捉えられることが多いと思われる「ディスカッション」と「学生に対する給与」を取り上げ，その違いが生まれる根源的な理由を考えるとともに，それらの違いを認識した上でどのように行動すればよいと現在私が考えているかを述べさせて頂きたいと思います．

2. 言語の根源的な違い

研究を行っていてまず感じたのが，「ディスカッション」という言葉が示すものが，それまで自分が思っていたものと随分違うものだということでした．例えば，「どうすれば研究室のアウトプットを高められるか」というようなディスカッションが，グループワークの形で行われた場でのことです．印象に残ったのは「学生の数に対して教員が少なく，指導が行き届いていると思えない．教員の代わりに研究指導ができる優秀なポスドクを雇うべきだ」と，教授の目の前で発言した学生の意見でした．ただ，批判というよりは意見であったと思います．このような意見を日本で学生が口にするのは教授に対する批判として捉えられる可能性が高いため，思っていたとしても伝えるのは一般には難しいのではないかと思います．もちろん，他の人も一緒の場で上司の批判はやめておいたほうが良いということは，海外のビジネス書にもよく書いてありますので，海外では何でも言ってもよいというのは，見当違いでしょう．

英語でいうディスカッションを，それが使われる背景も含めて日本語に訳せば，「フラットな立場を前提とした議論」ということではないかと思います．欧米流のフラットな組織が前提にあるからこそ，自由な議論であるディスカッションが可能になっているということです．日本では，それが良いか悪いかという議論は別として，文化として上下関係が存在します．すると「フラットな立場を前提とした議論」など不可能です．不可能なものですから，概念を想像すること自体困難なはずです．日本でもディスカッションという言葉はよく使いますが，フラットな組織というものを体感せずに，ディスカッションという言葉を知ったつもりになっていたことにがく然としました．この経験を，日本に長く住む海外出身の方に話したところ「確かに英語でいうディスカッションは日本にはまずないね」ということで意見が一致しました．

そもそも，日本語では人の呼称自体に上下関係があります．宮崎駿監督の映画『となりのトトロ』で，姉のサツキと妹のメイのやり取りで，「メイ！」「おねえちゃん！」と呼び合うシーンの英語版字幕は「Mai!」「Satsuki!」です（Satsukiの代わりにSis.も使っています．なお，メイは英語版ではMeiでなくMaiです）．姉妹の間ですら無意識に上下関係を大前提とした呼び方をするわけです．姉妹間でフラットな立場で議論しましょうと言っても，相手をフラットな立場で呼ぶことすら困難です．この人の呼称に関する議論は［1］に詳しく書かれており，［1］のタイトルどおり言葉と文化というのは切っても切れない関係があるわけです．

さて，日本で英語の意味でのディスカッションを行いたい場合にはどうしたらよいのでしょうか．これは，フラットな立場の人を集めて議論する，すなわち，同世代の人との間で議論すればよいのだと思います．逆にいうと，世代の違う人と英語の意味でのディスカッションをしようなどと，あまり考えないほうがよいのではないでしょうか．

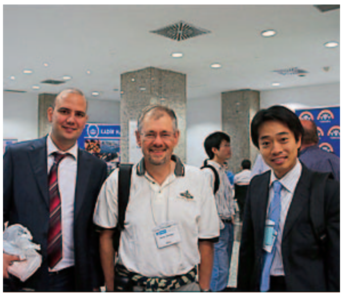
また，ディスカッションの場などを含め，海外に行ったときに必要なのは，心理学でいう「メンタルブロック」を外すことだと思います．［2］を引用しますと，

> 『ほとんどの日本人は，中学から大学までの授業や受験勉強を通して，「間違えてはいけない」という強烈なプレッシャーをかけられています．（中略）「間違えてはいけない」というのは，学生時代に刷り込まれた受験のルールであり，実際のビジネスパーソンのルールではないと認識しましょう．（中略）こういった否定的な思い込みを，「メンタルブロック」といいます．英語を話すためには，英語に関して自分にはどのようなメンタルブロックがかかっているか知り，それを一つ一つ，解いていかなくてはなりません．』

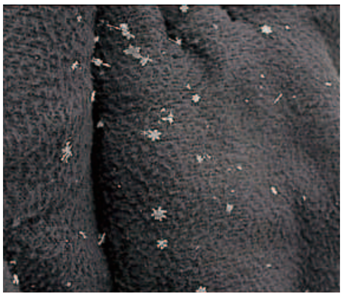
ということです．ディスカッションにおいては，目上には敬語を使わないといけないなどというメンタルブロックは外すことです．

3. 宗教などに起因する価値観の根源的な違い

第2回（no. 15, pp. 72-73）で，大学院生は給料を得ていると書きました．良いシステムではないか，日本にも導入したら良いではないか，と一度は考える方も多いのではないでしょうか．日本に


国際会議で Jens Zander 教授らと再会.

2010 年 11 月末に王立工科大学を再訪問.


雪は綺麗な結晶のまま.

王宮付近．これで午後 4 時前.

も学術振興会特別研究員制度や国費外国人留学生制度はありますが，受給期間が前もって決まっていることや，途中のチェックがほぼないことなど，大きな違いがあります.

さて，大学院生に給料を与えるやり方と与えないやり方のどちらが本来あるべき姿なのでしょうか．給料を与えることのデメリットがないわけではありません．給料があると学問をしたいというよりは給料が得られるという理由でレベルの低い人が大学院に流れ込み，学問の質が落ちてしまうかもしれません．対価に見合った成果を短期的に出せない人は淘汰されるかもしれませんが，その人に対するセーフティネットはあるでしょうか．研究室のファンドがなくなり給料が払えなくなると，大学院生でもクビになります．心理学的にいえば，対価を支払うと長期的にはモチベーションが下がるという説［3］もあります．そもそもそのための財源がどこかに必要です.

そして，どうやら労働（ワーク）というものは原罪に対する罰であるというキリスト教などを起源とする価値観［4］の下では，給料は払った方が良いから払っているというより，払わなければならないから払っているだけに思えてきました．また，私は働かないと罪悪感を感じる至って平凡な日本人ですが，どうやら欧米の人たちは逆に休まないと罪悪感を感じるのではないかと思えてきました．「旧約聖書」の十戒には（意訳ですが）「お休みする日を守りなさい」と書いてあります．一方の日本では明確な根拠がよく分からないのですが，「日本書紀」の中の十七条憲法には役人に限った話ではありますが「朝から晩まで働きなさい」と書いてあります．その昔からそうだとしたら，考え方はなかなか変わらないのではないかと思います．最近，ワーク･ライフ･バランスという言葉がはやっていますが，これもワークが罪と感じるかどうかで考え方が変わってくるでしょう．そもそも，ワークとライフの二元論が成立するからワーク･ライフ･バランスという言葉が成立するわけですが，ワークが罪でない人には，この二元論は成立しない可能性があると思います.

結局のところ，現時点で私が支持している考え方は「残業しないということと，残業するということは，どちらも人が成長するためには，必要なステップである．大切なのは，今の自分にどちらが必要なのか見極めて実行することだ．」［5］というようなことです．何が何でも給与を与えるとか与えないとかいうことではなく，組織の発展にメリットが大きければ，給料を与えて学生を集めるという戦略を使えばよいということではないでしょうか.

また，日本では教員という立場でなくとも大学院生のうちから，最終的な責任を負っていないにしろ後輩の指導を行うことが多いでしょう．となると，ある程度は周りに気を遣いながら研究を進めることになります．このような環境では，自分を追い込んで研究にのめり込みすぎ後輩の世話の手を抜くと，研究室全体としてのパフォーマンスは下がってしまうように感じています．その点，特に客員研究員という立場ですとそのような関係もなくなりますから，自分を追い込んで研究に取り組むには最適だと思います.

ついでにいうと，宗教的なことに対する行動様式についても，海外経験を経て初めて自信がついてきた気がします．私は［6］でいう「無宗教」の立場の人間です．「無宗教」と言いつつも，お墓参りに行けばお墓に水をかけて掃除し，友人の結婚式でも忌み言葉を意識して挨拶し，子供にはクリスマスプレゼントを用意した方が良いと感じる日本的常識（？）をわきまえた人間です．とはいえ，何となく宗教に対する態度が破綻しているようで，この行動様式に自信があまりありませんでした．そう感じていた原因は，これも言語の根源的な違いにつながりますが，そもそも宗教という言葉自体が英語の religion の訳語にすぎず，明治になるまで日本になかった概念である［6］ことのように思います．すなわち，日本において宗教を考えるというのは，自分が知りもしない欧米の枠組みを通して日本を見ていることに相当するわけです．私の行動様式･価値観は，宗教という言葉が日本語に入る前から日本人が取ってきた伝統的行動様式･価値観と本質的に変わりなく，欧米における宗教という概念と違うだけであり，だからといって恥じたりする必要は全くないという認識に至っている次第です.

4. むすび

海外では日本に必要なメンタルブロックを外さないとうまくいかないことが多々あると思います．日本に帰ってきたときに逆カルチャーショックを覚えましたが，それは海外に順応して，日本に必要なメンタルブロックを外しっぱなしで帰ってきたためだと思います.

もちろん，スウェーデンに必要なメンタルブロックもあります．酒に酔っぱらって醜態をさらしたり，窓際に洗濯物を干したりできません．この反作用として，スウェーデン人は別の国に行ったときに，お酒で羽目を外しすぎるという評判もあるようです.

このように海外経験を通してメンタルブロックを認識し，意識して外したり付けられるようになれば，世の中を生き抜くための社会的適応能力も上がるでしょう．メンタルブロックといっても，私は否定的には捉えていません．自分の幼い娘には「ご飯を残してはならない」というメンタルブロックをきちんと植え付けようと試みています．失敗する日が多い毎日ですが.

文　献

［1］鈴木孝夫，ことばと文化，岩波新書，1973.
［2］本田直之，レバレッジ英語勉強法，朝日新聞出版，2008.
［3］市川伸一，学ぶ意欲の心理学，PHP 新書，2001.
［4］島田裕巳，金融恐慌とユダヤ・キリスト教，文春新書，2009.
［5］安田佳生，下を向いて生きよう，サンマーク出版，2007.
［6］島田裕巳，無宗教こそ日本人の宗教である，角川 one テーマ 21，2009.

無線通信により実現される安心・安全な未来医療・ヘルスケア社会

浜口　清　Kiyoshi Hamaguchi　独立行政法人情報通信研究機構

1. まえがき

2009 年度版の厚生労働白書によれば，1990 年代より生産年齢人口（15 ～ 64 歳）の割合は減り続け，2055 年の推定値は約 51 % となる．出生率が下がり続ける一方，高齢化率（65 歳以上の人口割合）は約 40% に至る．国民医療費状況（厚生労働省）[1] では，2007 年度の国民医療費は 34 兆 1,360 億円であり，前年度に比べ 1 兆 84 億円（3%）増加した計算となる．実に国民医療費の国民所得に対する比率は，9.11%（前年度は 8.87%）であり，高齢化傾向が顕著である中で，健康を維持するための費用負担が過大となっている現状を誰もが認識する必要があるだろう．

医療・福祉は基本的に人的リソースに頼る分野であることから労働集約が難しく，医療・福祉従事者のロードワークを軽減するための機械化やハイテク化は進みにくいとされてきた．しかし，最近よく聞くいわゆる遠隔診療では，例えば専門医不在の過疎地域における診療行為を通信システムの助けを借りて遠方の医師が行っており [2]，今後，医療分野への通信技術の利活用は，過疎化とあいまってますます進むだろうと予想される．

通信を利用した未来医療のイメージの一例として，医療福祉ロボットが挙げられる．手術支援，リハビリテーション支援，介護，セラピーロボットなど多種多様なロボットが提案され，一部は既に実用化されている．遠隔操作による手術支援ロボット [3] は，海外での普及数に比べて国内の導入例は極めて少ないが，3D 映像による立体視，アームの 7 方向の自由度，アーム操作のスケーリングによる微細な動きの実現などの特長を持って遠隔操作でロボットアームを操作できる．高度な外科手術を受けたいが専門医が身近にいない場合など，手術支援ロボットは有効な手段になろう．

更に，現在実用化されている介護支援ロボット [4] では，ロボットスーツを人が装着して，体を動かすときに発生する微弱な生体電位信号をセンサが検知してモータを動かし手足の動きをサポートできるものがあり，介護施設等での導入例がある．現在は無線 LAN（Local Area Network）を経由してネットワークに接続された PC（Personal Computer）により設定等の操作を行っているが，装着者の動きの状況やセンサからの生体情報を利用して，遠方にある家族の“見守り”や周囲の家電操作に活用するなど，ネットワーク接続による応用は広いと考えられる．

本文では，安心安全な未来医療・ヘルスケア社会の実現のため，無線通信の利活用として最近特に注目されている無線 BAN（Body Area Network）技術を中心に，総務省の電波政策懇談会報告書[5] やブロードバンドワイヤレスフォーラムで議論されている内容，IEEE 標準化動向を概観したい．

2. ユビキタス医療・ヘルスケアネットワーク

コンピュータの発達により大容量のデータ通信が可能となり，情報通信ネットワークが整備されたことで，診断データや電子カルテのような医療情報をネットワークで扱うことの有効性が示されている．例えば，通院が容易でない患者に対して，遠隔診療により在宅で医師とテレビを通じて対話ができ，体の状態や医療機器の状況を医療機関へ伝送するシステムは実用化されつつあり，これら情報通信ネットワークが自宅と医療機関を常に結んでいれば，病状が急変した場合でもすぐに適切な指示を受けることができ，安心して自宅で療養できるし，通院の必要も少なくなる [6]．すなわち，情報通信ネットワークは，患者・医療従事者の双方の負担を軽くすることができる．

移動通信端末を利用した近未来の医療・ヘルスケアのイメージの具体例としては，PC や携帯電話，生体センサ等と ICT 技術との連携により，個人の健康データを収集したり，ヘルスケア情報を地域に提供したり，患者の診断を行ったりする応用が考えられる．その例は表 1 のとおりである（一部は既に実現している）[7]．

表 1　移動通信端末を利用した近未来の医療・ヘルスケアのイメージ

アプリケーション	具体例
ショートメールメッセージによるコンサルタント	・電子メールによるリアルタイムでの医療情報の交換 ・通信端末で偽薬のチェック
遠隔ラーニング	・携帯電話や PC などで医療情報を入手 ・病院提供素材によるビデオ学習
携帯ホスピタル	スマートフォンを使った視力や聴力検査
トラッキング	・病院内で患者の識別に利用 ・医薬品配達のトラッキングを通信端末で確認
遠隔診断	遠隔地にいる医師を受診（スマートフォンによる心拍音モニタリング等）
自己健康診断	皮膚がんの自己チェックや，せきの音をスマートフォンに録音して健康診断
健康情報のチェック	・地域での病気の広がりの動向チェック ・自分の血糖値をトラッキング
運動・栄養状況のチェック	歩数や体重の記録や食事の栄養度のチェック
健康状態を維持するためのゲーム	運動量や服薬遵守，血糖値などを競うゲームで健康維持

ここで，ネットワークによるデータ連携は重要なポイントとなる．電子カルテと日々の生体情報が関連付けられ，ホストコンピュータに情報が蓄積されることにより，各病院で情報データベースにアクセスできる環境が整えば，病歴や診断の結果，治療の経緯，検査結果，長期的な健康状態の変化などの全てが容易に把握でき，患者・医療従事者の双方にとっての利便性が増す．データベース化により，疾病の発症と身体上の予兆との因果関係を明らかにする統計量の抽出も容易となる．

こうしたシステムの実現には，いつどこにいても通信により生体情報を伝送できる（ユビキタス）ネットワーク［8］が必要である．図 1 は，このユビキタス医療・ヘルスケアネットワークの将来イメージの例である．この図では，①身体上に複数ある生体センサからの情報が，無線により同じく身体上にあるコーディネータと呼ばれる機器に一旦伝送・収集され，②携帯電話等を通してインターネット網に接続される．③データから健康状態をチェックして，異常があると認められた場合，④医療機関や，いわゆる“健康見守りセンタ”に連絡され，⑤医師や健康アドバイザによる診断・判断が行われ（必要により電子カルテが参照され），その結果，⑥携帯電話を利用したボイスによるユーザ宛への問合せや，家族への連絡，警備会社への自動通報などの様々な形態で，ユーザ側にとって有益なフィードバックがなされる．

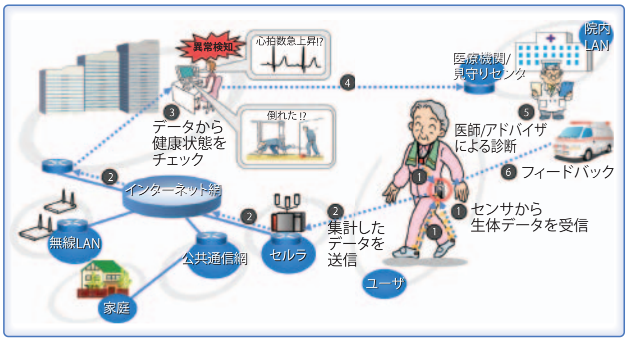


図 1　ユビキタス医療・ヘルスケアネットワークの将来イメージ

3. 無線ボディエリアネットワーク

無線 BAN は，体表面（ウェアラブル）及び体内（インプラント）に配置された無線センサによって作られるセンサネットワークの一種と定義できる．無線 BAN では，体を取り巻くようにして無線ネットワークが作られる．**2.** では，身体上に複数ある生体センサとコーディネータからなる無線機器がこれに相当する．

同種システムは，いわゆる無線センサネットワークを人体中心に利用するという意味から，海外では Body-Centric Communications［9］として知られているが，2006 年 11 月に，IEEE802.15（WPANs）委員会内に SG6（Body Area Networks，現在は IEEE802.15.TG6）が設置されて以来，急速に BAN の呼称が認知されてきた．

既に完成された短距離無線技術では，Bluetooth や Zigbee 等が知られているが，医療通信用途を意識した無線 BAN に必ずしも最適化されているとはいえず，現在，IEEE802.15.TG6 で無線 BAN に特化した物理層 /MAC 層のデファクト標準化が進行中である．人体を通信媒体と捉えれば人体通信（HBC: Human-Body Communication）も考えられることから，TG6 では HBC も標準化の対象となっている．

無線 BAN のような近距離向け通信規格では，無線通信の到達域そのものが限定された領域に留まるため，遠隔地に情報を伝送しようとした場合は，無線 BAN から外部のネットワークまで，携帯電話，無線 LAN のアクセスポイント等を経由して通信回線を形成することになる．

BAN を用いた医療分野における利活用の例には，無線 BAN が携帯電話など既存無線インフラストラクチャを通して外部ネットワークに接続され，心電，脈波，動脈血酸素飽和度，体温といった生体情報を医療・ヘルスケア等の情報として利用することが考えられる．例えば，加速度センサを用いて体の各部位の運動量をセンシングすることにより，遠隔地にいる理学療法士が外傷後の機能回復状態を確認

できる他，高齢者の転倒事故をいち早く検知し救急活動を行うことも可能となる．入院患者が生体情報センサを複数装着しても，ケーブルレスであることから患者への負荷や行動の制約が大幅に軽減できることが期待される．

インプラント（体内）の無線 BAN を用いた応用では，糖尿病の患者に対して，体内植込形血糖値センサとウェアラブル形インシュリンポンプで BAN を構築し，体内センサの情報からインシュリン注入量を制御する応用が考えられる［10］．体内センサの情報は健康見守りセンタにも送信され，健康管理に利用される．

小腸等の消化器官の異常を見つけるために開発されたカプセル内視鏡は，カプセル形の小形きょう体の中にカメラや信号処理回路，無線ユニット等が内蔵されたもので，既に実用化されているが，次世代カプセル内視鏡への要求として，体内端末から伝送される画像の高品質化への期待があり，画像フレーム数及び解像度の向上が望まれている．将来，より多くの情報量の取得を目指して，複数の撮像センサを持つ複眼形のカプセル内視鏡が実現するかもしれない［11］．

無線 BAN ネットワークに，こうしたインプラント形センサデバイスが接続されれば，体内外の多様な情報が得られることになり，より正確な診断に利用できるだろう．

4. 無線ボディエリアネットワークの技術課題

様々な応用先を持つ無線 BAN 技術だが，その技術の確立には多くの課題がある．例えば，無線リンク品質を推測するための電波伝搬モデルの構築が必要である．図 2 に情報通信研究機構（NICT）で実施した電波伝搬特性測定の様子を示す．体の裏表にセンサ端末がある場合，1 GHz 以下の電波を利用した BAN は回折によって通信が途絶えにくい利点のあることが分かったが，一般に 1 GHz 以下の周波数は既に様々な無線利用システムの利用でひっ迫しており，他システムからの干渉信号を許容しながら利用することになる（場合によっては，通信速度の低下を許しても干渉回避技術の導入が必要になるだろう）．一方，高周波数帯では，より通信速度が速く多目的に利用できる 2.4 GHz の ISM（Industry Science Medical）帯や UWB（Ultra Wide Band）用途の無線周波数帯がある．周波数の高さによる電波伝搬上の減衰のため，遠方からの干渉信号は比較的受けにくい．すなわち，無線 BAN で利用する無線周波数は，アプリケーション（この場合は通信速度）を条件に電波伝搬特性の特徴を考慮して決定する

図 2　人体周辺での電波伝搬特性モデル化に向けた測定の様子

必要がある．電波伝搬特性はシステム設計に重要であるものの，これまで体周りの電波伝搬モデルは網羅的に検討された例が見当たらず，特に人が動く場合の動的モデルの解析は検討例が少ないため，NICT 他でモデル化に取り組んでいる［12］，［13］．一方，インプラントの無線 BAN では，体内組織の電気定数を与えた数値人体モデル［14］による計算機解析を行っており，周波数が低いほど電波伝搬の減衰量が小さいことが分かっている［15］．

この他にも，BAN 端末から放射される電磁波の体及び医療機器へ与える影響の検討，無線リンク品質を向上させる変復調及びメディアアクセス制御技術や，低消費電力で個人情報（すなわち生体情報）を安心して伝送するための暗号化技術などが必要となるだろう．

5. 電波新産業創出戦略とブロードバンドワイヤレスフォーラム

2009 年 7 月に総務省電波政策懇談会より電波新産業創出戦略（電波政策懇談会報告書）が公開された．この報告書によれば，電波利用の更なる進展により，少子高齢化，新産業創出，地域活性化，環境問題への対応等の様々な社会問題の解決が期待され，更に新たな付加価値が生み出されて日本の経済成長のけん引役としての役割が望まれている．

電波の未来を創る五つの電波新産業創出プロジェクトには，ブロードバンドワイヤレス，安心・安全ワイヤレス，家庭内ワイヤレス，インテリジェント端末プロジェクトに加えて，医療・少子高齢化対応プロジェクトがあり，無線 BAN による生体情報の管理がアプリケーションの一つとして注目されている．

電波新産業創出戦略を受けて，無線通信技術を用いた新システムやサービスの早期実用化や国際展開を図るため，無線通信技術に関する研究開発や調査，情報の収集，関係機関との連絡調整，普及啓発活動等を行い，新たな電波利用システムやサービスの発展に寄与することを目

的として，2009 年 7 月に 120 社以上の参加によりブロードバンドワイヤレスフォーラムが結成された．

このフォーラムでは，2010 年度，プロジェクト推進分科会の中に医療・少子高齢化対応プロジェクトのワーキンググループが結成され，医療少子高齢化社会において新産業分野の核となり得る無線 BAN の研究開発動向などについて検討が実施された．

このワーキンググループで議論された無線 BAN の市場普及のイメージは以下のとおりである．医師法の基本的な考え方では，診療は医師と患者が直接対面して行われることが基本であり，遠隔診療はあくまで直接の対面診療を補完するものとして行うべきものとされている．現在許容されている遠隔医療は，慢性疾患，対面診療が困難な離島にある患者に限るなど，ある限定された条件で許される特別な事例［16］であることから，早期の産業育成のため，無線 BAN を医療機器として普及させる前段階として，“ヘルスケアシステム”での応用，あるいはゲーム機等に組み込んで使用される“アミューズメント”応用へ展開していく可能性が検討された．ここでアミューズメント応用とは，例えば加速度センサが組み込まれた複数の無線 BAN を人体の各所に装着して，スポーツゲームの入力機器に用いるような利用法であり，プレイヤの複雑な動きを簡単にゲームに反映させることができる．

図 3 に医療・少子高齢化対応プロジェクトで議論された普及シナリオの例を示す．初期段階では，市場規模が大きなエンターテイメント利用を主眼とする商品に期待するところが大きい．この後，サービスプラットホームに接続せず，個人に限った利用形態であるヘルスケア（個人型）利用が成される．ヘルスケア（個人型）は，ヘルスケア（プラットホーム（PF）型）や遠隔医療無線 BAN よりも初期導入が容易であることから市場占有力は強いと考えられる．次に，プラットホームの整備が成された段階で，プラットホーム上で機能するヘルスケア

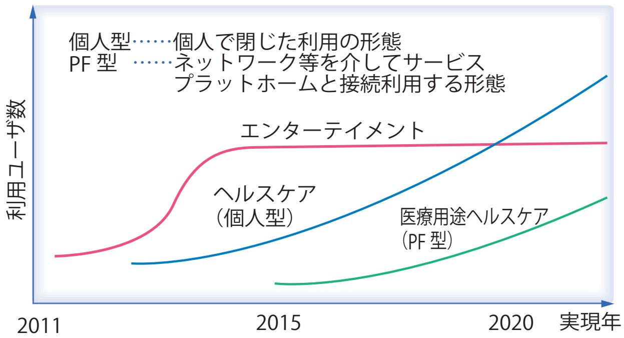


図 3　普及シナリオ

（PF 型）が普及すると予測している．ここでプラットホーム型とは，ネットワークインフラストラクチャに接続して利用する無線 BAN 機器や関連するソフトウェアなどを包括的に示すもので，図 1 ではシステム全体を指す．無線 BAN がネットワークインフラストラクチャに接続されず，個人の PC でデータ管理する等の閉じられた利用形態を個人型と呼ぶ．

一方，海外に目を向けると，米国では無線 BAN の医療用途での利用が最優先で検討されている．各国の事情により普及シナリオは異なるが，研究開発については医療用途のシステムに限定するのではなく，市場規模の観点からエンターテイメントやヘルスケア，福祉市場への適用についても目を向けるべきであり，アプリケーション間での相互的な戦略を持った技術展開を行うことが必要である．

6. IEEE802.15.6 標準化動向

医療・ヘルスケア関連では，デジュール標準化団体としての ISO/TC215（Health Informatics として，データ構造，データ変換，用語，セキュリティ，デバイス等を取り扱う）や，デファクト標準である IEEE11073（Medical/Health Device Communication）等の団体で，異なる独立したシステム間で保険医療情報通信等を行う際，互換性・相互運用性を確保するために必要な標準が策定されている．

国際的な無線通信規格（PHY 層及び MAC 層が対象）のデファクト標準を先導する米国 IEEE802 委員会では IEEE802.15.6 無線 BAN 部会が組織化されており，2011 年 2 月現在，標準化文書案の第 2 版（D02）が発行されている．現在の進捗状況では，標準化文書が確定するのは 2011 年度内の見込みである．なお，IEEE802.15.6 で示されている要求条件は表 2 のとおりである［17］．

特に，無線 BAN を構成するノード間の伝送速度は，使用するセンサの種別や無線技術（誤り訂正強度等）に依存するものの，生体情報の伝送に限れば，高速なデータ通信というよりはむしろ，数百 kbit/s 程度までの低速なデータ伝送で十分であるが，複数のセンサ情報を同時に伝送する場合や，アミューズメント等での利用法まで拡張した場合，10 Mbit/s 程度の伝送速度が必要とされた．

図 4 に IEEE802.15.6 で議論されている BAN 用周波数帯を示す．同図で黄色の部分は，特に国際的に共通して周波数割当てされることの多い周波数帯であり，402 ～ 405 MHz 帯は体内植込形医療用途として，2.4 ～ 2.5 GHz 帯は多目的用途の ISM（Industry Science

表 2　IEEE802.15.6 の要求条件

項　目	条　件
Topology	体上及び体内に配置する端末数として6 個以上のデバイスに対応．256 まで拡張できるネットワーク
Bit Rate	データレート（PHY-Service Access Point) は 10 kbit/s ～ 10 Mbit/s
Transmission Range	通信距離は 3 m 以上
Security	AES 128 bits（FIPS-197）以上の強度を持つセキュアな通信
Quality of Service（QoS）	通信の高信頼性を PHY/MAC でサポート
Power Consumption	超低消費電力を PHY/MAC でサポート
Coexistence and Interference Resistance	6 × 6 × 6 m^3 の空間で 10 個の BAN が同時利用できる共存性
Complexity	低消費電力実装が可能なアーキテクチャで実装可能
Regulation and Specific Absorption Rate	SAR（比吸収率，生体への電磁波による熱的影響）を考慮

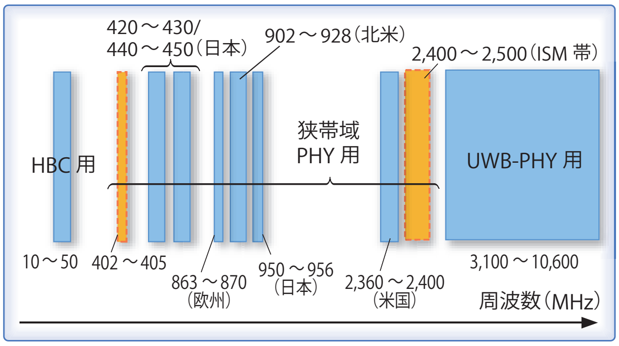


図 4　IEEE802.15.6 で議論されている無線 BAN 周波数帯

Medical）帯として利用されている．各国の規制に従ってこれら周波数の利用が想定されており，HBC や狭帯域変調による物理層，2.4 GHz-ISM 帯の利用，広帯域な UWB（Ultra Wide Band）の利用が特徴となっている．

7. むすび

本文では，生体センシングを行う無線ボディエリアネットワークを中心に，その概念，日本の電波新産業創出戦略，ブロードバンドワイヤレスフォーラムでの無線 BAN 普及シナリオや IEEE802.15.6 標準化動向について概略を紹介した．ここでは一部のトピックに焦点を絞って述べたが，医療・ヘルスケア・介護等の分野で考えられるアプリケーションは，利用シナリオごとに要求条件が異なることから取り扱う幅が広く，技術やアイデアも多種多様なものが必要となる．

医療・ヘルスケア分野への通信技術の利活用により夢のある安心安全な未来医療・ヘルスケア社会が実現できそう（学生諸氏に対しては研究や技術開発がしたい）と感じて頂ければ幸いである．

文　献

[1] 厚生労働省，厚生労働統計一覧，http://www.mhlw.go.jp/toukei/list/37-19.html.

[2] 総務省東北総合通信局，「医療における地域 ICT の利活用」全国先進事業事例集，March 2009.

[3] Intuitive Surgical 社 , http://www.intuitivesurgical.com.

[4] 佐藤帆紡，川畑共良，田中文英，山海嘉之，“ロボットスーツ HAL による移乗介助動作の支援 ”，機学論（C），vol. 76, no. 762, pp. 227-235, Feb. 2010.

[5] 総務省，電波新産業創出戦略～電波政策懇談会報告書～，July 2009.

[6] 厚生労働省，保健医療分野の情報化にむけてのグランドデザイン，Dec. 2001.

[7] P. Fawkes, PSFK Presents Future of Health: A Report On Trends at the Intersection of Health & Technology, CreateSpace, Oct. 2010.

[8] 朽久保修，山末耕太郎，“情報通信技術を活用したヘルスケアネットワークシステム”，信学誌，vol.90, no.8, pp.636-641, Aug. 2007.

[9] P. S. Hall and Y. Hao, Antennas and Propagation for Body-centric Wireless Communications, Artech House, Aug. 2006.

[10] R. Dudde and T. Vering, “Advanced insulin infusion using a control loop（ADICOL）concept and realization of a control-loop application for the automated delivery of insulin,” Proc. 4th Int. IEEE EMBS Special Topic Conference on Information Technology Applications in Biomedicine 2003, pp. 280-282, April 2003.

[11] N. Bourbakis, G. Giakos, and A. Karargyris, “Design of new-generation robotic capsules for therapeutic and diagnostic endoscopy,” Proc. 2010 IEEE Int. Conf. on Imaging Systems and Techniques（IST），pp. 1-6, July 2010.

[12] 青柳貴洋，浜口清，河野隆二，“3D ソフトウェアを用いた 400MHz 帯ウェアラブル BAN における人体動作時の電波伝搬シミュレーションと偏波ダイバーシチの検討”，信学技報，MICT2010-6，pp.51-64，April 2010.

[13] 山本尚武，白方享宗，小林大祐，小川晃一，“人の歩行動作を模擬できる動的 BAN ファントム，”2010 信学ソ大，B-1-54, p. 54, Sept. 2010.

[14] T. Nagaoka, S. Watanabe, K. Sakurai, E. Kunieda, S. Watanabe, M. Taki, and Y. Yamanaka, “Development of realistic high-resolution whole-body voxel models of Japanese adult male and female of average height and weight and application of models to radio-frequency electromagnetic-field dosimetry,” Physics in Medicine and Biology, vol. 49, pp. 1-15, Jan. 2004.

[15] 滝沢賢一，青柳貴洋，穂満政敏，浜田リラ，石上忍，小林岳彦，高田潤一，河野隆二，“インプラント WBAN を想定した液体ファントム利用による電波伝搬特性の測定”，信学技報，MICT2008-22，pp.63-68，Jan. 2009.

[16] 厚生労働省，「情報通信機器を用いた診療（いわゆる「遠隔診療」）について」の一部改正について，医政発第 0331020 号，March 31, 2003.

[17] IEEE P802.15, TG6 Technical Requirements Document（TRD），Doc. IEEE P802. 15-08-0644-09-0006, Nov. 2008.

浜口　清（正員）

平元東京理科大卒．平 10 阪大大学院博士課程了．平 5 から独立行政法人情報通信研究機構（旧郵政省通信総合研究所）．現在，技術移転推進室マネージャー．陸上移動無線方式，近距離通信システム等の研究開発に従事．平 18 文部科学大臣表彰若手科学者賞，平 22 電波産業会電波功績賞等．博士（工学）．IEEE 会員．

医療機関内ネットワーク高度化に向けた無線通信技術の利用

Advanced Hospital Networks Using Wireless Communications Technologies

萩原浩明 Hiroaki Hagiwara[†1]　滝沢賢一 Kenichi Takizawa[†2]

Summary 医療分野における無線通信技術の利用は，その利用による利便性向上と信頼性担保とのバランスの上に成立している．例えば，病院内で患者の心電図や血圧，呼吸などの生体情報（バイタルデータ）の無線モニタリングは，患者を非拘束で常時モニタリングできるという利便性向上が得られる反面，患者の生命を託すことができる高い信頼性が要求される．現在，このようなバイタルデータ伝送には医療用テレメータが用いられているが，センサの高度化や無線ボディエリアネットワーク（BAN：Body Area Network）等の無線通信技術の新たな流れを考慮すると，バイタルデータ伝送を含めた多岐にわたる医療分野への無線通信技術の導入が避けて通れない時期に差しかかっている．

本論文では，医療施設における無線通信利用の現状と課題を示した後，無線通信技術を活用した医療情報ネットワーク高度化について述べる．このような医療情報ネットワークの構築によって，バイタルデータの連続的なデータ収集に基づく高度な医療サービスの実現が期待される．

Key words 医療情報ネットワーク／医療用テレメータ／無線 LAN ／無線 BAN ／メディカルスマートフォン

1 まえがき —医療における無線通信の役割—

病院内では様々な場面で無線通信が利用されている．それは，医療の核心部分である治療に関わるものから，医療サービスを提供するための付随的なもの，果ては患者が病院内に持ち込む携帯電話やゲーム機まで多岐にわたり，その利用方法は混然としている．しかし，いずれの場合も，通信方法を有線から無線にすることで利便性が得られることが，多岐にわたって利用されている根拠である．

医療サービスを提供する立場からの利便性とは，労働効率の向上や安全管理である．その目的のために，医師が利用する医療用 PHS（Personal Handyphone System），ナースコールに連動する医療用 PHS，看護師が病室で記録や投薬指示の確認をする PDA（Personal Digital Assistant），医師が回診で検査結果を参照する無線 LAN（Local Area Network），ノート PC（Personal Computer）が利用されている．

医療サービスを提供される立場の患者からは，入院しても自宅と同じように家族・社会との関わりを保てるように，携帯電話の利用やインターネットに接続するための無線 LAN の利用への要望がある．

†1　横浜市立大学医学部放射線医学，横浜市
Radiology, Medical Studies, Yokohama City University, Yokohama-shi, 326-0004 Japan
†2　独立行政法人情報通信研究機構，小金井市
National Institute of Information and Communications Technology, Koganei-shi, 184-8795 Japan

しかし，無線通信がその利便性を最も発揮できるのは，有線通信がもたらす物理的な束縛からの解放である．重症患者に多くのチューブやコードがからんでいる様子をスパゲティ症候群という俗称で揶揄（やゆ）することがある．重症度が高く，施される治療が高度であればあるほど，多くのチューブやコードといったラインでの接続が必要とされる．軽症な患者にとっても，たとえ点滴一本でさえも，自由度を損なう大きなストレスである．重症患者のストレスはいかばかりであろうか．多くのラインは省くことができないが，唯一省くことができるものは，バイタルデータを伝送するためのラインである．バイタルデータの通信を無線化することは，患者のストレスからの解放のみならず，行動の自由度を増加させ，肺塞栓の予防やリハビリテーションの促進等，多くの効果が期待できる．

2 医療における無線利用の現状と課題

2.1　医療用テレメータを用いたバイタルデータモニタリング

医療における無線利用として代表的なものが，バイタルデータの遠隔モニタリングを無線通信で行う医療用テレメータである．病院内で患者の容体を常時把握するために収集するバイタルデータの代表が，心電図，呼吸数，血中酸素飽和度である．ベッド上から移動することができない重症患者は，体表に貼った電極からケーブルがベッドサイドモニタ

© 電子情報通信学会 2011

に接続され，ここからナースステーションのセントラルモニタまで，有線（LAN 等）または無線（無線 LAN 等）で情報が伝送される．心電図波形や心拍数，呼吸数等に正常値を設定し，その値を逸脱した場合にはアラームを発報するシステムである．ベッドを離れ病棟内を移動できる患者には，体表の 3 個の電極と医療用テレメータ送信機（普及型で約 200 g 程度が一般的）をケーブルで接続する．

医療用テレメータは，無線設備規則第 49 条の 14 項で規定される特定小電力無線局に属し，「小電力テレメータの運用規定」[1] により 420 ～ 450 MHz 帯に六つのバンドが規定されている（表 1）．その通信仕様は占有周波数帯幅によって A 型から E 型までの 5 種類に分類されて定められている（表 2）が，一般的にバイタルデータをモニタリングする機器は，占有周波数帯幅が 8.5 kHz 以下（周波数チャネル間隔は 12.5 kHz）の A 型を利用している．また，通信方式は単方向通信に限定されている．

表 1　医療用テレメータのバンドと周波数

バンド名	周波数範囲（MHz）	周波数幅（MHz）
バンド 1	420.05 ～ 421.0375	0.9875
バンド 2	424.4875 ～ 425.975	1.4875
バンド 3	429.25 ～ 429.7375	0.4875
バンド 4	440.5625 ～ 441.55	0.9875
バンド 5	444.5125 ～ 445.5	0.9875
バンド 6	448.675 ～ 449.6625	0.9875

表 2　医療用テレメータの送信機区分

送信機の区分	周波数間隔（kHz）	占有帯域幅許容値（kHz）	出力（mW）	利用目的
A 型	12.5	8.5 以下	1	1 波形送信
B 型	25	16 以下		2 波形送信
C 型	50	32 以下		狭帯域での 3 波形以上の送信
D 型	100	64 以下		
E 型	500	320 以下	10	広帯域での 3 波形以上の送信

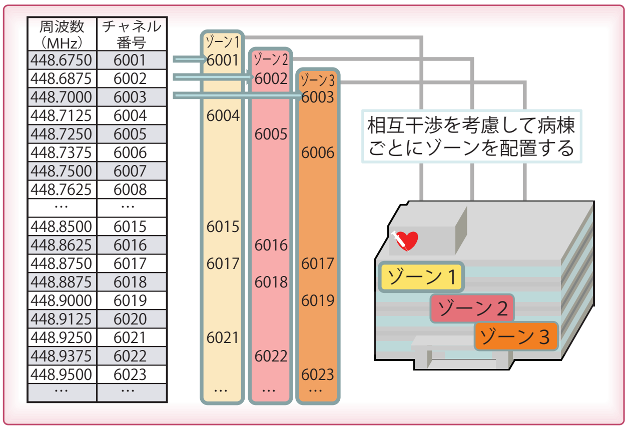


図 1　医療用テレメータのゾーンと病棟配置（バンド 6 の例）

A 型を利用するテレメータについて，各バンドには 12.5 kHz 間隔で周波数チャネルが規定されている．また，隣接周波数チャネル間干渉を避けるため，干渉が少なくなるような周波数チャネル集合をグループ化したゾーンという概念を導入し，病棟単位でこのゾーンを配置する設計を行っている（図 1）．このように，医療用テレメータを用いたバイタルデータのモニタリングでは，病棟単位で使用可能な周波数チャネルを事前に割り当てて，その割当範囲内でモニタリングが必要な患者に医療用テレメータを装着している．

2.2　医療用テレメータの問題点

医療用テレメータの運用上の問題点は，大きく以下の四つが挙げられる．一つ目は患者数増減への柔軟性が乏しいこと，二つ目は端末利用者と受信波形の同一性確認が視認に頼っていること，三つ目は受信エリアが限定されていること，最後にアラームの誤報が多いことである．

医療用テレメータは，固定されたチャネル割当とあらかじめ設計されたゾーン配置により運用がなされる．また，医療用テレメータはセンサ側からデータ収集端末側への単方向通信である．そのため，病棟でモニタリングが必要となる患者数の増減に対する柔軟性が少ない．

ナースステーションのセントラルモニタに表示される波形と患者との同一性確認は，送信機のチャネルと受信機のチャネルを視認する方法がとられている．そのため，誤った患者の波形から判断して，不整脈の治療を行った事故例が 2006 年から 2010 年だけで 5 件，日本医療評価機構の医療事故情報収集事業に報告されている（図 2）[2]．

受信できるエリアも設計された病棟に限定されるため，検査のために病棟を離れると波形が受信されない．また，単方向通信のため，受信エリアを離れていることは患者自身も確認できない．重症患者が病棟を離れて検査室や手術室に移動する場合には，移動用モニタを装着する．よって，病棟を離れている間のバイタルデータはサーバに記録されず，治療の継続性に反映されない．

ナースステーションに設置されたセントラルモニタには，患者から送信されたバイタルデータから，致死的な不整脈や血圧低下等の重篤な病態を自動で解析し，アラームを発生させる機能が備わっている．しかし，センサが体表からはずれたり，検査のため送受信の範囲である病棟外に移動したりすることによるアラームの誤発報も頻回に発生する．そのため，モニタの警告音量を下げてしまったり，警告音が鳴っているにもかかわらず注意が払われなかったり，送

図 2　医療用テレメータの事故事例

受信エリアから出たのであろう，と誤った判断して，患者の急変に対応できない事故が多く報告されている［3］．

2.3　院内無線 LAN 利用の現状

病院内で無線 LAN が最も利用されているのは，医療スタッフが利用するノート PC や PDA である．PDA の利用方法は，看護師が行う病室で検温や血圧測定の結果を電子カルテへ記載する際や，投薬や点滴その他の処置を行う際の指示確認や実施報告入力である．これらの利用方法においては，文字情報の伝送であるために伝送される情報量はごく少ないものである．

医師による無線 LAN の利用は，病室で患者を診察する際に，電子カルテの検査結果や温度表を参照するために利用する．その際に，最も情報量が多いのが，画像の参照である．回診に訪れた医師が患者を診察しながら，検査の画像を患者に説明したり，その場で病状の評価や治療方針の検討を行う場合がある．

医療画像の代表である X 線写真のデータサイズは，DICOM[1)]（The Digital Imaging and Communications in Medicine）規格に準じたフォーマットで 1 枚当り約 10 MByte，PACS[2)]（Picture Archiving and Communication Systems）で参照するためにウェブ配信するフォーマットにしたもので 1 枚当り 1 MByte ほどである．CT（Computed Tomography）等の断層画像は，画像 1 枚当たりのデータ量は X 線撮影画像に比べると少ないが，画像枚数が膨大である．最新の PET-CT[3)]（Positron Emission Tomography-CT）の融合画像では，一検査で 1,000 枚近い画像が発生し，ウェブ配信でも 100 MByte 近くのデータ量となる．心臓カテーテル検査や心臓超音波検査では動画が記録されるため，これらの動画も配信されることになる．

院内で無線 LAN はどれくらいの利用者がいるのであろうか．医療スタッフが利用することを前提とすると，端末数は最大で医療スタッフの数と見積もられる．現状では，300 台程度のノート PC での運用実績や［4］，医療機器の病院内配置の位置検索に利用が報告されている［5］．しかし，患者のモニタリングや音声通信（VoIP：Voice over Internet Protocol）へ利用を拡大した場合には，更なる端末数増に対応可能なネットワーク構築が必要とされる．

現状の医療情報ネットワークにおいては，無線 LAN が重要な資源であるという評価は得られていない．したがって，院内での無線 LAN の利用ルールに関心は薄く，インターネットに接続するため等の理由で，各部署が無計画にアクセスポイントを設置していることも多々ある．無線通信を医療情報ネットワークの基盤として利用するためには，院内での無線 LAN 利用のルール作りと厳格な運用も必要である．

3　医療ネットワークの将来像：バイタルデータの連続モニタリングを例として

ここでは，医療ネットワークの将来像について述べる．バイタルデータの連続モニタリングを応用例として挙げて，無線 BAN（Body Area Network，ボディエリアネットワーク）を活用した，医療機関内だけでなく在宅においても連続的にバイタルデータのモニタリングを実現する医療ネットワークについて述べる．

3.1　無線 BAN によるバイタルデータモニタリング

人体近傍や体内外での無線通信，無線 BAN の規格標準化が IEEE 802.15.6 タスクグループで議論されている［6］．その応用は医療分野のみならず，エクササイズやエンターテイメントなど広い分野が期待されている．体表に装着した複数のウェアラブルセンサや，体内に埋め込まれたインプラントセンサからの生体情報は，これらのセンサからの生体情報を収集するコーディネータに無線伝送される．センサは，体内に埋め込まれることを前提とする年単位での電池寿命が要求されるため，低電力消費であることが必須である．通信機能を動作させる時間を短縮させる間欠動作や，センシング以外の機能（データ解析等）を省くことによって，低消費電力化を実現することとなる．

したがって，無線BANにおける生体情報の収集や解析，バイタルデータが蓄積される医療機関等のサーバへの伝達は，全て無線BAN内のコーディネータ端末がゲートウェイ機能を担うことになり，コーディネータ端末の性能がバイタルデータモニタリング用ネットワーク全体の機能を左右する存在である．それでは，病院内で利用されるコーディネータ端末にはどのような機能が期待されるのであろうか．

無線BANの通信方式の議論は多くあるものの， 無線BANで収集されたデータを病院内にあるバイタルデータが蓄積されるサーバへ，どのようにネットワークを介して伝送すればよいかについての議論は少ない． まずは無線BANから収集される生体情報を情報の形態と医療上の重要度から，「(1) 生命維持に関する波形情報」，「(2) 散発的に発生する数値情報」，「(3) 画像情報」，「(4) 生命維持には関わらない波形情報」に分類する． これら四つの生体情報の重要性に応じて，伝送に要求される通信品質（伝送速度や許容遅延時間等）を考慮する必要がある．「(1) 生命維持に関する波形情報」の代表が心電図である．その他に，血中酸素飽和度，心電図から派生的に収集できる呼吸運動がある．

「(1) 生命維持に関する波形情報」を常時モニタリングすることは，現在では前述の医療用テレメータにより行われている．致死的な不整脈が発生した場合には，数分以内の迅速な対応が要求されるとともに，長期にわたり継続した波形の記録も必要となる．しかし，その情報量は，心電図の他に，血中酸素飽和度，呼吸運動の波形の合計は多く見積もって100 kbit/s程度にすぎない．また迅速な対応が必要ではあるものの，リアルタイムでの伝送の必要性は低く，数秒の遅延も許容できる．しかし，情報の欠失は許されず，病院内のどこにいても継続的な情報収集が必要とされる．

コーディネータが病院内の無線LANに接続し，LANを介してサーバに伝送できれば，テレメータの四つの問題点

① 患者数増減への柔軟性が乏しいこと
② 端末利用者と受信波形の同一性確認が視認に頼っていること
③ 受信エリアが限定されていること
④ アラームの誤報が多いこと

を解決することが可能である．

①コーディネータをIPアドレスにより管理することで，現在のような病棟単位でのゾーン割当や使用チャネルで送信機を管理する必要がなくなり，病棟ごとの定数の上限がなくなる．②双方向通信であるため，端末と利用者の確認が容易である．③通信範囲も病棟に限定されず，病院内のどこに移動しても通信が可能であり，データの欠失がなくなり，移動のためのモニタの付替えも不要となる．④医療用テレメータの単方向通信と異なり双方向通信であれば，自身の送信状態を確認することも可能である．受信強度や，センサのエラー，アラームの状態を患者自身にフィードバックすることで，アラームの誤報の頻度を著しく減少させることもできる．

「(2) 散発的に発生する数値情報」としては，体温，血圧，血糖値など数秒おきから一日に数回のデータ，更に長い間隔で収集されるものも想定される．情報量としてはごく小さなもので，情報の欠失さえ回避できればよい情報である．「(3) 画像情報」としてはカプセル内視鏡からの画像が最も可能性の高いものである．情報量はフレームレートに依存し，2フレーム毎秒の場合には数Mbit/s程度となる[7]．「(4) 生命維持に関わらない波形情報」としては，加速度計や圧力計からの情報が想定される． 情報量としては，(1) 生命維持に関する波形情報と同等であるが，遅延や欠失が許容される優先度の低い情報である．これらの優先度の低い情報は，コーディネータでの一時的保存とネットワークの使用状況に応じた送信が許容される．

3.2 コーディネータ端末の機能

(1) メディカルスマートフォンというコンセプト

スマートフォンには，多種多様な医療・ヘルスケア用のアプリケーションが開発されている．医療用途としては従事者向けのデータベースや書籍を代替するアプリケーションが多く，ヘルスケア用途としては体重や血圧，血糖を管理するためのアプリケーションや，運動の方法やメニューを指導するアプリケーションが提供されている．医療用途のアプリケーションを搭載したスマートフォンをメディカルスマートフォンと呼称する企業も見られるが，コーディネータに求められる機能をモニタリング以外にも拡張していくと，その姿はスマートフォンに限りなく近づいていくことは明らかである．心電図や血中酸素飽和度のセンサを装着した際には，医療用テレメータに相当するアプリケーションを，カプセル内視鏡の検査中には，画像を受信・閲覧するアプリケーションを起動する，このようにセンサに対応したアプリケーションを同一端末で展開することとなる．

高機能のコーディネータを開発していくためには，スケールメリットが必要である．病院内でのみ使用する医

療用テレメータとスマートフォンでは，その市場規模に大きな開きがある．スマートフォンの延長線上にコーディネータを位置付けることで，開発の促進が進み，ユーザとしての患者への導入も抵抗なくできるであろう．

(2) コーディネータに求められる付加機能

生体情報のモニタリングが病院内全域で可能になったとしても，患者の位置を特定できなければ機能としては無駄と言わざるを得ない．救急対応が必要なサインが検出されたとしても，患者が病室にいるのか，トイレなのか，他のフロアにいるのか瞬時に医療スタッフに周知できなければならない．認知症患者の徘徊（はいかい）を防止する目的で GPS（Global Positioning System）を利用したシステムや，無線 LAN を用いて医療機器を始め移動体の位置特定システムが実用化されている[8]．患者の位置特定は，急変時の対応以外に，日常活動の測定にも活用できる．リハビリテーション期の患者が，一日中ベッド上で過ごしているのか，病院内を移動しているのか，身体活動量を客観的に評価する指標にもなる．

病院内において患者は，患者確認のために必ず ID カードを携帯している．患者確認は医療サービスを開始するための第一歩であり，例えば点滴を開始するときには，この薬剤を投与するように指示された患者は，目の前にいるこの人物であるか確認する必要がある．検体を採取する採血や画像診断，手術，輸血，診察，あらゆる場面で患者確認は，医療安全の基本的対策である．対面している患者と処置を行う患者の同一性の確認を視認だけでするならば，ID カードや氏名が記載されたリストバンドがあれば機能としては十分である．しかし，多くの情報や指示が PDA や電子カルテ端末といったネットワーク端末で表示されるようになった現在では，電子的な認証が機能として求められている．患者が携帯するコーディネータに RFID（Radio Frequency IDentification）システムを搭載し，医療スタッフの端末と通信できれば，患者の取違えを防ぐことが可能である．

コーディネータには，患者に装着したセンサを認証する他に，患者が特定されていないセンサからのデータの認証にも利用できる．看護師が回診で持ち歩く血圧計や体温計，体重計で測定されたデータを，コーディネータに RFID システムで通信し，患者が特定されたデータとしてタイムスタンプを付加してサーバに送信すれば，入院中のこれらのデータを経時的に一覧表示する温度板の管理の省力化が可能である．

医療用テレメータには，モニタリング以外の付加機能としてナースコールが搭載されている．バイタルデータから自動解析されるアラームとは別に，本人の自覚症状から看護師に通報ができる．ベッドサイドに設置されている有線のナースコールでは，コールに対応した看護師と会話をすることが可能であるが，単方向通信の医療用テレメータは，自分のコールが看護師に伝わっているか確認することもできなければ，会話をすることもできない．コーディネータを利用した音声通信は，有線のナースコールを代替することも可能であり，病院内のトイレを始め多数設置されているコールボタンを減らすこともできる．

コーディネータに情報端末としての機能があれば，病院内で多くの情報を入手することが可能となる．インターネットは言うまでもないが，病院内のシステム，すなわち電子カルテへのアクセスは有用である．患者が自分の病状や医療サービスに関する情報を入手する手段は，医師や看護師からの説明が従来からの方法であり，それに印刷された検査結果や検査の説明が加わる．これらの情報は電子カルテの内容であり，今日の採血の結果，明日の画像検査の予定など，アクセスできる範囲を決めて公開することで，患者が自身に行われている医療の確認をすることができる．更にカルテに自身の症状を記載することができれば，医療スタッフとのコミュニケーションが増加する．カルテは問題点ごとに，S（Subjective）患者の訴え等主観的情報，O（Objective）検査等の客観的情報，A（Assessment）評価，P（Plan）検査や治療の計画の，SOAP に分類して記載するのが一般的である．S の部分は患者が感じる痛みや苦痛など，症状

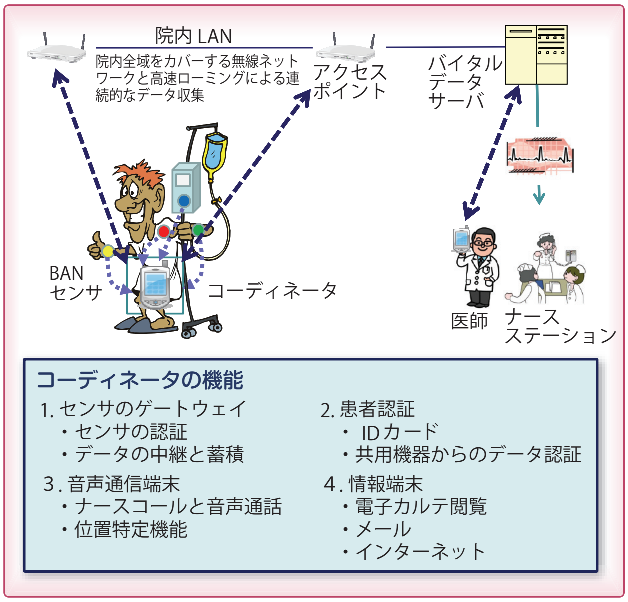


図3 コーディネータの機能と院内ネットワーク

の主観的訴えであるので，限られた診察時間の中で情報収集するよりは，患者が時間をかけて整理して記述した内容を元に診察を始めた方が効率が良く，患者参加形医療の実践ができる．笑えはしないが，外来や手術に忙しく朝と夕方にしか回診に来られない主治医に，患者が病室からメールする時代がやってくるかもしれない（図3）．

3.3　メディカルスマートフォンが普及するための課題

（1）無線通信の不感地帯の解消

病院内で安定した高信頼性の通信を実現するための第一の条件は，病院内の不感地帯を解消することである．医療用テレメータの通信範囲は，病棟を前提としているため，アンテナの設計は容易である．しかし病院内全域を通信範囲とすると，病室や廊下，トイレ，浴室はもちろん，エレベータ内や階段までカバーしなければならない．これらの領域を全て有線LAN敷設によって行う無線LANアクセスポイントの展開は非効率的である．解決する手段としては，アクセスポイント設置への自由度が高い無線メッシュネットワークを利用する方法［9］がある．また，広域無線アクセスであるWiMAX（Worldwide Interoperability for Microwave Access）等のWMAN（Wireless Metro Area Network）を利用する方法が考えられる．

（2）病院内LANのQoS

現在の病院内LANは，電子カルテの利用を中心に設計されている．この病院内LANを利用して生体情報を伝送するためには，生命維持に関わる生体情報を遅延や損失を生じさせずに，サーバまで伝送するためのQoS（Quality of Service）保証がネットワークには求められる．

IEEE11073-00101-2008［10］に示された各種医療情報伝送におけるQoS要求を表3に示す．病院内LANでは，電子カルテを参照するダウンリンクと電子カルテにデータを書き込むアップリンクを中心とした通信が行われる．生体情報（波形データ）やアラームは，要求帯域幅としてはごく低いものであるが，優先度を最も上位に位置させなければならない．生体情報のようにアップリンクで伝送されるデータの多くは，電子カルテへの指示や診察の記載が目的であることから，容量は小さいがパケット損は許容されず，高い信頼性が要求される．一方，ダウンリンクには容量の大きな画像などの記録・履歴参照が含まれるが，その優先度は低い．よって，生体情報を伝送するためのネットワークでは，アップリンクにおいて伝送されるデータに対して，高い優先度を割り当てることが重要である．ただし，医療機器の高度化が進み，患者に点滴薬剤を注入する輸液ポンプや人工呼吸器をネットワーク遠隔操作することが可能となった際には，ダウンリンクにも優先されるパケットが発生することも考慮しておかなければならない．

表3　各種医療情報伝送におけるQoS要求［10］

データの種類	信頼性	伝送遅延	優先度	帯域幅
アラーム (real-time)	++++	< 10 s To central station	++++	64 Bytes/alarm
波形データ (real-time)	+++	< 3 s	+++	ECG: 3-lead 8-bit, 2,400 bit/s EEG: 120~250 bit/s
生体情報 (real-time)	+++	< 10 s	+++	20 Bytes/ parameter
（画像等の）記録・履歴参照	++	< 5 s pushing < 5 s pulling	+	+++

Rating: low (+), medium (++), high (+++), or highest/essential (++++)

（3）ローミング性能の向上

コーディネータを携帯した患者が病院内を移動する際には，アクセスポイント（AP：Access Point）間ローミングが生じる．従来の無線LANでは，電波干渉による性能低下を避けるため，隣接するAPには異なるチャネルが設定されている．そのために生じるローミングごとのチャネルの切換に加え，ESS-ID（Extended Service Set IDentifier）の再認証やDHCP（Dynamic Host Configuration Protocol）サーバによる新規IPアドレスの配布等によって，遅延や切断が発生する．継続したモニタリングを実現するためには，これらの課題を解決する必要がある．解決策の一つとして，複数のAPを同一チャネルで運用し，クライアントは常に複数のAPにアップリンク接続を維持する方法があり，AP間を移動しても遅延やパケット損を発生させないシステムも開発されている［11］．

（4）電磁共存性

病院内で利用される無線機器について，必ず配慮しなければならない点は，発生する無線による生命維持装置となるような医療機器への影響である．医療用テレメータは，その出力はA形では1 mWと低出力である．一方，無線LANは最大で200 mWの出力であるが，総務省における「平成15年度・電波の医療機器等への影響に関する調査」において心臓ペースメーカ及び除細動器との共存試験が実施され，結果に基づく注意喚起等がなされている．今後登場する新たな無線システムを医療機器周辺で利用する際には影響を調査した上で導入することが必要になる．

（5）医療機器としての薬事承認制度改革

患者の生体情報を伝送する無線機器は，無線機器とし

ての許認可とともに，薬事法に基づいて医療機器としての承認が必要である．医療機器は，薬事法第2条4項に，『人若しくは動物の疾病の診断，治療若しくは予防に使用されること，または人若しくは動物の身体の構造若しくは機能に影響を及ぼすことが目的とされている機械器具等』と定義されている．医療機器は，身体に及ぼす影響により分類され，モニタリング機器は，画像診断機器とともに，不具合が生じた場合でも人体へのリスクが比較的低いクラスII（管理医療機器）に分類されている（表4）．

病院で使用されている機器の多くは医療機器として薬事承認され，安全性が保証されている．しかし，その弊害として医療以外で使用される機器とほぼ同一の性能であるにもかかわらず，価格が著しく高くついてしまう．例えば，画像診断用のPCと液晶モニタのセットも，医療機器として薬事承認された機器は，いわゆる民生品と比較すると，その価格は著しく高価である．それでも，民生品の液晶モニタの市場規模が拡大したことで医療機器としての価格も大幅に低減している．メディカルスマートフォンも同様の過程を経ることが予想される．民生品としてのスマートフォンの機能向上と価格低減が先行し，始めて医療機器として大規模に導入することができる環境が整うこととなるであろう．

表4　医療機器に係る分類と規制

国際分類	リスクによる医療機器の分類	分　類	リスク	製造販売規制
クラスI	不具合が生じた場合でも，**人体へのリスクが極めて低い**と考えられるもの （例）体外診断用機器，鋼製小物，X線フィルム，歯科技工用用品	一般医療機器	極めて低い	承認・認証不要（届出 / 自己認証）
クラスII	不具合が生じた場合でも，**人体へのリスクが比較的低い**と考えられるもの （例）MRI，電子式血圧計，電子内視鏡，消化器用カテーテル，超音波診断装置，歯科用合金	管理医療機器	低	登録認証機関による認証（認証基準に適合するものに限る）
クラスIII	不具合が生じた場合，**人体へのリスクが比較的高い**と考えられるもの （例）透析器，人工骨・関節，人工呼吸器，バルーンカテーテル	高度管理医療機器	中・高	大臣による認証（総合機構による審査）
クラスIV	患者への侵襲性が高く，不具合が生じた場合，**生命の危険に直結する恐れ**があるもの （例）ペースメーカ，人工心臓弁，ステント			

薬事承認された通信機器のもう一つの問題点として，ソフトウェアの追加や変更ができないことが挙げられる．薬事承認はハードウェアとソフトウェアを一体とした機器とみなすため，例えば，薬事承認された画像診断PC端末に，汎用の事務処理ソフトや辞書を導入することは，医療機器に改造を加えたことと見なされてしまう．患者の生命に関わる通信機器である以上，薬事承認が必要であることは必須であるが，ハードウェアとソフトウェアを分離して，それぞれの機能を保証する制度に変更しなければ，メディカルスマートフォンの導入の障壁となることが想定される．

複数のメーカにより開発されたセンサを，患者の病状に応じて，また病院のシステムに応じて取捨選択できることが必要である．センサからコーディネータのハードウェア，ソフトウェアを一括して薬事承認する制度では，システムの柔軟性を失わせてしまう．もっとも，現状でもネットワークに関しての薬事承認は曖昧である．データを発生させる画像診断機器，それを保存・閲覧するPACSは薬事承認がされているが，それらを接続するネットワークに関しては目が向けられておらず，通信経路の性能保証は，電子カルテシステムも含め議論されていない．生体情報をモニタリングする機器とネットワークについて，この現状から極論すれば，データを発生させるセンサとデータを蓄積・閲覧するシステムが薬事承認されていれば，どのような経路でデータを収集するかは問われない，という考え方もできてしまう．しかし，これは極論であって，患者の生命に関わる通信機器の性能をどのように誰が担保するか，薬事承認の制度の検討が必要である．米国では既に，連邦通信委員会（Federal Communications Commission）と食品医薬品局（Food and Drug Administration）が，医療無線通信機器に関する安全性の確保や規制，認可について連携する方針が打ち出されている[12]．

(6) 適切な周波数帯の選択

院内で利用されているデータ伝送用の周波数帯を表5に示す．コーディネータ端末から院内LANへの通信規格の候補としては，無線LAN（WiFi）の利用が第一に挙げられる．2.4 GHz帯は多くの無線機器が利用されるISM（Industry-Science-Medical）帯であるために干渉源が多く，病院内では電子レンジやマイクロ波治療器からの雑音による影響が生じ得る［13］．一方，5 GHz帯はチャネル数が多く，2.4 GHz帯と比較して産業機器等から放射される雑音は少ない．しかしながら，各種レーダシステムとの周波数共用のため，動的周波数選択（DFS：Dynamic Frequency

表5　院内で利用されているデータ伝送用周波数

周波数帯	無線通信システム	備　考
400 MHz 帯	医療用テレメータ	単向通信
1.9 GHz 帯	医療用 PHS	
2.4 GHz 帯	無線 LAN(11b/g), Zigbee, Bluetooth	医療・産業機器との共用
5 GHz 帯	無線 LAN(11a/n)	レーダシステム等と共用

Selection）の具備を必須とする周波数チャネルも多い．DFS が必要な周波数帯については，QoS 保証への要求が厳しいデータ伝送を利用する際には注意が必要になる．

420 ～ 450 MHz 帯の医療用テレメータの単方向通信を双方向通信に規格変更をすることで，コーディネータ端末の機能を充足させる方法も考えられる．しかし，体内外間無線通信に有用な電波伝搬特性を考慮すると，この周波数帯はインプラント BAN へ割り当てることも有益である．

ウェアラブル無線 BAN の周波数帯として，米国では 2.36 ～ 2.4 GHz の周波数帯を MBAN（Medical Body Area Network）帯として開放することについて，米国 FCC において議論がなされている［14］．国内においても，ネットワーク化が可能な医療用周波数帯の整備が今後進められるものと期待される．

4 むすび

医療無線通信機器の発達は，医療に大きな変革をもたらすであろう．その基盤となるネットワークの高度化は，無線伝送が必要となる患者及び医療機器からアクセスポイントまでの「ファーストワンホップ」の無線通信規格動向が大きな鍵を握っている．生体情報の高信頼性通信とともに大容量データの通信にも対応する方法と考えられる．本稿では生体情報計測などの医療情報伝送を主なコンテンツとして示したが，将来は医療機器制御などに無線通信機能が搭載されることも考えられる．その際には現在の無線 LAN や無線 BAN のようなアクセス制御ではなく，無線ネットワークと有線ネットワークとが時間同期も取ることが可能な遅延時間が事前予測される統合ネットワークを構築する必要がある．

【用語解説】

1）**DICOM**（The Digital Imaging and Communication in Medicine）：医療用画像を取り扱う規格．X 線撮影装置，CT，MRI 等の装置や PACS の接続，保存や転送，画像のフォーマット等を標準化し広く普及している．

2）**PACS**（Picture Archiving and Communication Systems）：医療用画像の保存や配信を行うシステムの総称．

3）**PET-CT 融合画像**：放射性同位元素で標識した薬剤を投与して画像化する PET（Positron Emission Tomography）は，体内での代謝活動を画像化することから機能画像と呼ばれる．X 線を用いる CT（Computed Tomography）で得られる形態画像と，機能画像を重ね合わせたものを融合画像という．

文　献

［1］ 医用電子機器技術委員会，“小電力テレメータの運用規定”，（社）日本電子機械工業会，EIAJ AE–5201, July 1989.

［2］ http://www.med-safe.jp/contents/info/index.html

［3］ http://www.city.yokohama.jp/me/byouin/nou/info/images/accident_report_9_25.pdf

［4］ 矢作百合子，“電子カルテ用無線 LAN システムの運用支援”，28 回医療情報学連大，no. 28（suppl），pp.769-774, Nov. 2008.

［5］ 黒田知宏，“無線 LAN 位置計測ソリューションを用いた医療機器管理の有効性検討”，医療情報学，vol. 28, no. 3, pp. 139-146, 2009.

［6］ IEEE802.15.6 タスクグループ , http://www.ieee802.org/15/pub/TG6.html

［7］ 穂満正敏 , 滝沢賢一 , “カプセル内視鏡の現状と将来に向けて，” 信学通誌，no. 17, pp.26-30, June 2011.

［8］ 日立製作所エアーロケーション，http://www.hitachi.co.jp/wirelessinfo/airlocation/index.html

［9］ 萩原浩明，滝沢賢一，井上登美夫，康芸，後藤隆久，S. Rafael，“メッシュネットワークによる病院内無線 LAN 構築の検討，” 29 回医療情報学連大，no. 29, pp.865-868, Nov. 2009.

［10］ IEEE 11073-00101-2008 Health Informatics,“Guidelines for the Use of RF Wireless Technology,” 2008.

［11］ アライドテレシス，http://www.allied-telesis.co.jp/products/list/extricom/kinou/index.html

［12］ http://www.fcc.gov/Daily_Releases/Daily_Business/2010/db0726/DOC-300200A2.pdf

［13］ 花田英輔，高野香子，工藤孝人，“マイクロ波治療器による無線通信への干渉”，28 回医療情報学連大，3-G-1-3, pp.775-777, Nov. 2008.

［14］ https://mentor.ieee.org/802.15/dcn/08/15-08-0108-01-0006-medical-body-area-network-application.pdf

（平成 22 年 12 月 6 日受付，平成 23 年 1 月 31 日再受付）

萩原浩明

平元東工大・工・卒．平 7 筑波大・医・卒．横浜市立大附属病院研修医，済生会横浜市南部病院を経て，現在，横浜市立大・医・放射線医学助教．臨床では画像診断を専門とする．画像通信，病院内の無線通信，BAN の研究に従事．NPO 法人 YCU 画像診断支援センターの理事を兼務．

滝沢賢一（正員）

平 15 新潟大大学院博士後期課程了．博士(工学)．同年，独立行政法人通信総合研究所（現在，情報通信研究機構）．医療支援を目的としたワイヤレス技術の研究に従事．

バイタルセンサの臨床データ取得とそのユビキタス健康監視への応用

Data Gathering of a Vital Sensor and Its Application to Ubiquitous Health Care Monitoring

原　晋介 Shinsuke Hara†

Summary　日常生活における我々の健康状態を常時監視し，通院するようになる前に生活習慣病を予防し，また，万が一それが発病した場合には適切に指導することにより改善し治療することが，我々のクオリティオブライフ（QoL：Quality of Life）の向上の観点から重要である．本稿では，そのようなシステムをユビキタス健康監視システムと呼び，それを実現するためのバイタルセンサ技術と無線伝送技術について解説する．

Key words　QoL／生活習慣病／バイタルセンサ／無線ボディエリアネットワーク

1 まえがき

生活習慣病は“毎日の良くない生活習慣の積み重ねによって引き起こされる病気”を指し，日本では糖尿病，脳卒中，心臓病，脂質異常症，高血圧と肥満が生活習慣病に含まれている．今や日本人の死亡原因の 3 分の 2 が生活習慣病に関連しているといわれている [1]．一方，クオリティオブライフ（QoL：Quality of Life）という言葉は“人間が生まれてから死ぬまでに送る生活の質”を意味し，人間が生きている間の幸せ度を示す尺度として最近使われるようになっている．

このような生活習慣病の予防あるいは改善そして QoL の向上には，日常生活における我々の健康状態を監視し，医師による適切な助言あるいは診断を常時受けられるようにすることが必要不可欠である．図 1 に示すように，情報通信技術が著しく発展し，パーソナルコンピュータ（PC：Personal Computer）や携帯電話等の情報端末を使うと，我々はほとんど全ての欲しい情報を今日手に入れることができるようになった．しかし，自らが問い合わせて自身の健康状態に関する情報をオンデマンドで取得できる健康監視システムは実現してきているが [2] ～ [4]，日常生活における自身の健康状態を情報端末を使って誰もがいつでも取得できるような常時稼働している（プロアクティブな）健康監視システムはあまり多くは実現していない．

図 1　通信端末を使った情報収集

本稿では，そのようなプロアクティブなシステムをユビキタス健康監視システムと呼び [5]，それを構築するための鍵となる二つの技術，すなわち，センシング技術と無線伝送技術について現状と将来展望を解説する．

2 バイタルセンサと無線ボディエリアネットワーク

バイタルサインは“生きている証”を意味し，脈拍あるいは心拍数，呼吸，血圧と体温の四つを通常指すが，健康監視システムでは，血中の酸素濃度を示す酸素飽和度や運動時に生じる加速度の変化等もバイタルサインに

†　大阪市立大学大学院工学研究科，大阪市
Graduate School of Engineering, Osaka City University, Osaka-shi, 558-0022 Japan

© 電子情報通信学会 2011

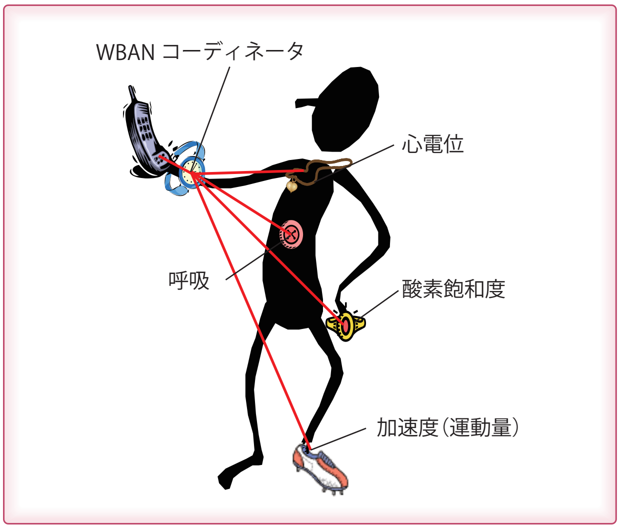


図 2　ユビキタス健康監視のための無線ボディエリアネットワーク

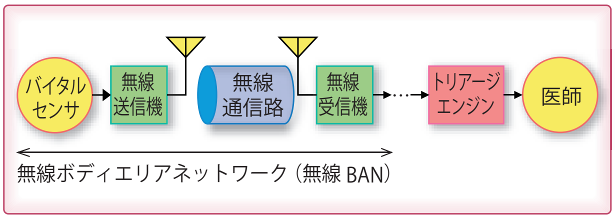


図 3　通信システムとしてのユビキタス健康監視システム

含めて取り扱うことが多い．これらバイタルサインを測定するものがバイタルセンサであり，我々のバイタルサインを無意識のうちにセンスするためのバイタルセンサには，低消費電力性，非侵襲性や非接触性が求められる．

一方，図 2 は，ユビキタス健康監視システムで重要な役割を担っている無線ボディエリアネットワーク（無線 BAN：Body Area Network）を示している．無線 BAN は身体の表面あるいは内部に装着されたバイタルセンサを無線でつないで構成されるネットワークである．無線 BAN はスター形のネットワークトポロジをとることが多く，バイタルセンサからのデータはコーディネータと呼ばれる装置に一度集められる．無線通信方式としては無線パーソナルエリアネットワーク（無線 PAN：Personal Area Network）[6] 等の無線通信方式が利用可能であり，IEEE 802.15.6 ワーキンググループは新しい無線 BAN の標準規格を現在策定中である [7]．

3　情報通信システムとしてのユビキタス健康監視システム

図 3 は，ユビキタス健康監視システムを通信システムとして捉えた図である．コーディネータで集められたバイタルデータはパケット化され，携帯電話ネットワークやインターネット等の通信路を通り，最終的には通信先の医師に届けられる．通信路ではパケットの受信確認のために ACK（確認応答）パケットが返送されるが，バイタルセンサはセンシングの機能しか通常持たないため，情報の流れはバイタルセンサから医師への一方向となる．多くの人間がバイタルセンサを装着しユビキタス健康監視システムを利用するようになると，医師のところには莫大な量のバイタルデータが届けられることになるので，医師に代わってバイタルデータを分類（トリアージ，triage）し，重要なデータだけを医師にアラーム等を使って知らせるトリアージエンジンが必要になる．

ユビキタス健康監視システムの特性を決定するのは無線 BAN とトリアージエンジンの能力である．無線 BAN の能力はバイタルセンサのセンシング能力と無線伝送方式のデータ伝送能力で決定される．ユビキタス健康監視システムで使用するバイタルセンサは誰もが簡単に使えるような単純な構造である必要があり，かつその装着場所は必ずしも十分なバイタルデータが得られるところではないかもしれない．また，有線伝送に比較すると無線伝送の信頼性は一般的に低い．つまり，バイタルセンサで得られたデータは無線 BAN の無線伝送時にフェージングや体によるブロッキングにより，その幾つかが失われてしまうかもしれない．したがって，現状のバイタルセンシング技術と無線伝送技術を使ってユビキタス健康監視システムを構築した場合，どれくらいの精度のバイタルデータが得られ，また，無線によってどれくらいのデータロスが生じるかを明らかにすることは非常に重要である．

一方，トリアージエンジンの能力は使用するバイタルデータの種類と疾病の検出・分類精度で決定される．特に，疾病の検出・分類では，ユビキタス健康監視システムで検出できる疾病を確定した後に，その疾病の発生をバイタルデータの中から即座に誤りなく見つける，つまり検出見逃し確率を小さくすることと，バイタルデータから誤ってその疾病を検出しない，つまり誤検出確率を小さくすることの両方が求められる．本解説論文の冒頭でも述べたが，医療従事者等にオンデマンドで診断してもらう健康監視システムは実現してきたが，常時診断を可能とするプロアクティブな健康監視システムはあまり多くは実現していない．研究開発例としては，特定の疾

病の在宅患者に対する症状の分類や予見を常時遠隔で行うシステム［8］や術後の在宅患者の運動状態の分類を常時遠隔で行うシステム［9］等がある．

4 バイタルセンサの臨床データ取得

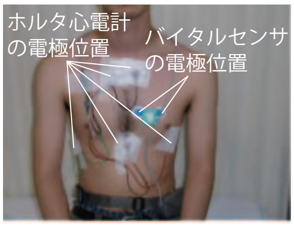
心臓の収縮は右心房の右上部に存在する洞結節の電気的発火によって起こり，それによる律動的電位変化をグラフに表したものが心電図（ECG：Electro CardioGram）である．心臓付近に電極を装着し電位変化を測定すること等により心電図は取得することができ，日常生活中の心電図を連続的に記録するための医療機器としてホルタ心電計が広く使用されている．

一方，製品として現在手に入る簡易形ワイヤレスバイタルセンサは幾つかあり，それらは心電，3 軸加速度と体温をセンスでき，かつそれらの性能はほとんど同じである．また，これらバイタルセンサは多くの健康監視システムで使用されてきている［10］～［12］．

したがって，簡易形ワイヤレスバイタルセンサの心電計測能力を検証することは，ホルタ心電計の能力と比較することにより客観的に行える．その目的のため，2009 年度に我々は健常者を被験者として臨床実験を行った（図 4 ）［13］～［15］．被験者数は 67 名（男性 30 名，女性 37 名），年齢は 21 ～ 49 歳であった．ある簡易形ワイヤレスバイタルセンサとホルタ心電計の両方を各被験者に装着し，日常生活における 24 時間の心電データを両方の装置で同時に取得した．バイタルセンサはセンスしたデータを 2.4 GHz-ISM（Industrial, Scientific and Medical）帯の無線信号を使ってノート PC に伝送するので，被験者には，外出時は PC をかばんに入れて持ち歩いてもらい，また，家にいる場合は見通しの良い場所に PC を設置してもらった．一方，ホルタ心電計はセンスしたデータを腰に装着したレコーダに有線で伝送する．

図 5 は，ある被験者から取得された心電波形の比較を示している．ホルタ心電計は 5 電極を用いることにより二つのチャネルで心電波形が測定可能なのに対し，バイタルセンサは 2 電極を用いるので一つのチャネルでしか心電波形が測定できない．図中，周期的に発生しているスパイク状の波は R 波，また隣接する R 波間の間隔は R-R 間隔とそれぞれ呼ばれ，通常，心拍数とは 1 分間の R 波の平均個数を指す．R 波発生のタイミングと R-R 間隔は三つの心電波形での間でそれぞれ等しく，電極方向の類似性より，バイタルセンサの心電波形はホルタ心電計チャネル 1 の波形とよく似ている．また，この図では，約 1.0 s のところで期外収縮（不整脈）がバイタルセンサとホルタ心電計の両方で検出できている．更に，図 6 は，データロス（後述）が比較的少なかった被験者 30 名の 24 時間心電波形に対する，バイタルセンサとホルタ心電計との間の正規化相互相関値を示している．全ての被験者に対しバイタルセンサとホルタ心電計チャネル 1 との正規化相互相関値は 0.7 以上が得られている．

一方，図 7 は，67 名の被験者全員に対する無線伝送時のデータロス率の分布を示している．データロス率は残念ながら非常に大きく，平均値は 0.22 であった．特に，数人の被験者では 0.5 以上のパケット損率になっていた．バイタルセンサはコイン形電池 CR2032（起電力



（a）被験者へのホルタ心電計とバイタルセンサの装着

（b）普段の生活の中でのデータ収集（歩行中）

（c）普段の生活の中でのデータ収集（勉強中）

（d）普段の生活の中でのデータ収集（睡眠中）

図 4 バイタルデータの臨床データ取得

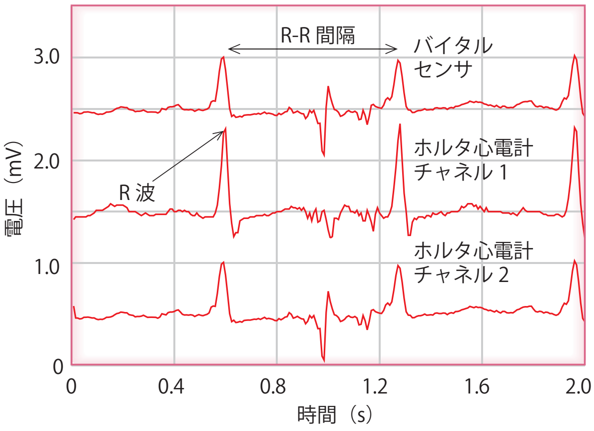


図 5 取得された心電波形の比較

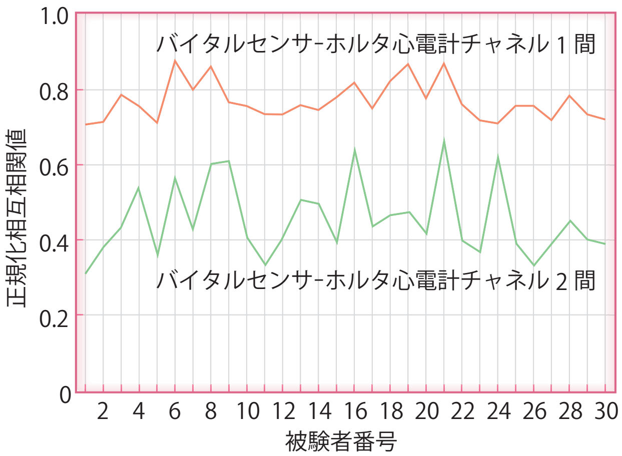


図 6　30 名の被験者の心電波形に対する正規化相互相関

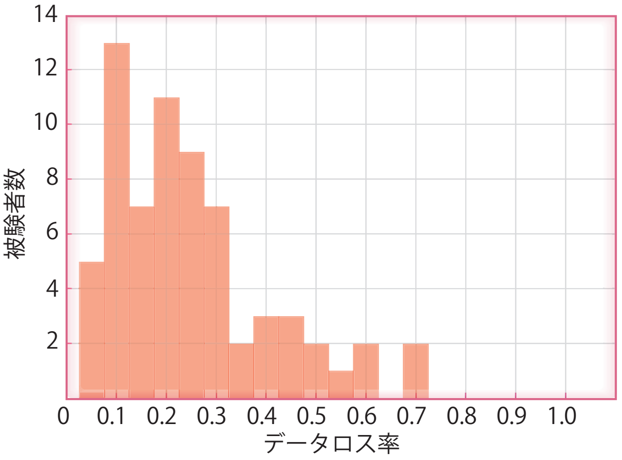


図 7　データロス率の分布

は 3V）で駆動されており，48 時間程度は連続使用できる．心電データを取得した時間が 24 時間であることを考慮に入れると，バイタルセンサの電池寿命がこのような大きなパケット損率を招いた原因ではないことが分かる．この原因は，PC のバッテリの寿命が約 8 時間であったことである．被験者には，家に帰ったらすぐに PC に電力ケーブルをつなぐよう指示していたが，それを忘れた被験者や，電力ケーブルをつないだが何らかの理由で PC に電力が供給されなかった例が幾つかあった．

5 むすび

ユビキタス健康監視システムに関しては，二つの研究開発項目があると考える．一つは，現状のセンシング技術と無線伝送技術を使って“どのようなことができ，何が原因でできないのか”を明らかにすることと，もう一つは，その結果を将来のバイタルセンサと無線通信技術の開発に結び付けることである．これらの目的のため，我々は，製品として現在手に入る簡易形ワイヤレスバイタルセンサのセンシング能力とデータ伝送能力を検証する臨床試験を行った．

簡易形ワイヤレスバイタルセンサのセンシング能力に関しては，取得できた心電波形と医療用ホルタ心電計の波形との間の正規化相互相関値は約 0.7 であった．この値は“強い相関”を表し，このバイタルセンサの波形は医療用ホルタ心電計の波形とは完全に一致はしないが非常によく似ていることを表す．このことにより，このバイタルセンサは心室頻拍や心室細動等の不整脈の検出には使える能力を持っていると思われる [16]．また，本臨床試験で用いたバイタルセンサは接触形であったが，ポケットに入れるだけで非接触で心電が計測できるような心電計も開発されている [17]．

一方，簡易形ワイヤレスバイタルセンサの無線データ伝送能力に関しては，そのデータロス率は非常に大きく平均で 0.22 であった．このバイタルセンサと同じように，無線 BAN は 2.4 GHz-ISM 帯の通信方式を当面は使用すると思われるが，2.4 GHz 帯では回折がほとんど起こらないため，体によってセンサノード・コーディネータリンクが簡単に切断される．データロス率が大きいと心電図で発生する異常を見逃す確率がそれだけ大きくなるので，無線伝送特性を改善しデータロス率を下げる方法を検討する必要がある．例えば，複数のセンサノードと一つのコーディネータが体表面に装着された場合，各センサノード・コーディネータリンクに協調伝送を用いることによりその無線伝送特性は改善できる [18]．また，コーディネータの役割は携帯電話が将来担うことが考えられるので，コーディネータを携帯電話端末とした実験の必要性を感じる．

更に残された課題として省電力化がある．本臨床実験で使用したバイタルセンサは 48 時間程度しか連続使用ができない．この電池寿命は 1 日程度の臨床実験には十分であるかもしれないが，プロアクティブなユビキタス健康監視システムには全く不十分である．したがって，電池寿命を飛躍的に長くする技術が必要不可欠である．例えば，内部の信号処理を徹底的に省電力化することで，このバイタルセンサとほとんど同じセンシングの能力を持ち，かつ同じ電池を使い，約 2 か月の連続使用を可能とするバイタルセンサが開発されている [19]．また，微小な振動や温度差を利用してエネルギーを発生させるエ

ネルギーハーベスティングや無線電力伝送等の技術の進展には近年著しいものがある．これらの技術の応用にも期待したい．

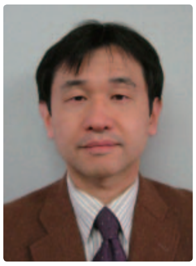
謝　辞

本原稿を執筆するにあたり，貴重な御助言を頂いた，大阪市立大学大学院工学研究科辻岡哲夫講師と中島重義准教授，並びに大阪市立大学大学院医学研究科中村肇准教授と竹内一秀教授に感謝する次第である．本稿に記載した研究成果の一部は，総務省戦略的情報通信研究開発推進制度（SCOPE）により実施したものである．

文　献

［1］日本成人病予防協会，"生活習慣病の予防，" http://www.japa.org/seijinbyou/seijinbyou.html.
［2］http://www.mhio.panasonic.co.jp/kanri/04/04 01 04 d5.htm.
［3］http://www.parama-tech.com/support/support 01.html.
［4］http://www.tanita.co.jp/company/press/MYH080529.pdf.
［5］栃久保修，山末耕太郎，"情報通信技術を活用したヘルスケアネットワークシステム，" 信学誌，vol. 90, no. 8, pp. 636-641, 2007.
［6］IEEE 802.15 Working Group for WPAN, http://www.ieee802.org/15/
［7］LAN/MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society, "IEEE P802.15.6TM/D01 Draft Standard for Body Area Network," 2010 .
［8］S. Patel, B. Chen, T. Buckley, R. Rednic, D. McClure, D. Tarsy, L.Shih, J. Dy, M. Welsh, and P. Bonato, "Home monitoring of patients with Parkinson's disease via wearable technology and a web-based application," Proc. IEEE EMBC, 2010, in CD-ROM, Buenos Aires, Argentina, Aug. 31-Sept. 4, 2010.
［9］S. L. Lau, I. Konig, K. David, B. Parandian, C. Carius-Dussel, and M.Schultz, "Supporting ratient monitoring using activity recognition with a smartphone," Proc. IEEE ISWCS 2010, in CD-ROM, York, UK, Sept. 19-22, 2010.
［10］幸島明男，車谷浩一，"モバイル生体センサを用いた遠隔ヘルスモニタリングのための Web アプリケーションの開発，" 第 4 回 IT ヘルスケア学会年次学術大会，pp. 59-62, 2010.
［11］今泉和也，山下和彦，岩上優美，"高齢者の健康支援のためのモニタリングシステムの有用性，" 第 4 回 IT ヘルスケア学会年次学術大会，pp.63-64, 2010.
［12］黒田正博，"安心見守りボディ・エリア・ネットワーク，" NICT NEWS, No. 391, 2010 年 4 月号，www.nict.go.jp/publication/NICT-News/.../01.html.
［13］菅野宏斗，小崎隆明，井上忠幸，辻岡哲夫，中島重義，原晋介，中村肇，竹内一秀，"バイタルセンサの臨床データ取得とそのユビキタス健康監視への応用（1）-（5），" 信学技報，MICT2009-22，2010.
［14］H. Sugano, S. Hara, T. Tsujioka, S. Nakajima, T. Inoue, H. Nakamura, and K. Takeuchi, "Evaluations of a wireless ECG sensor for realization of ubiquitous health care systems," Proc. IEEE EMBC 2010, in CD-ROM, Buenos Aires, Argentina, Aug. 31-Sept. 4, 2010.
［15］T. Inoue, T. Tsujioka, S. Nakajima, S. Hara, H. Nakamura, and K. Takeuchi, "Evaluation of a wireless vital sensor for ubiquitous health monitoring systems," Proc. IEEE ROSE 2010, in CD-ROM, Tempe, USA, Oct. 15-16, 2010.
［16］菅野宏斗，小崎隆明，井上忠幸，辻岡哲夫，中島重義，原晋介，中村肇，竹内一秀，"バイタルセンサの臨床データ取得とそのユビキタス健康監視への応用（6）：ワイヤレス生体センサの使用環境下における致死性不整脈の検出，" 信学技報，MICT2010-17, 2011.
［17］R. R. Fletcher and S. Kulkami, "Clip-on wireless wearable microwave sensor for ambulatory cardiac Monitoring," Proc. IEEE EMBC 2010, in CD-ROM, Buenos Aires, Argentina, 31 Aug. 31- Sept. 4, 2010.
［18］安在大祐，上出翔太，原晋介，滝沢賢一，浜口清，"無線 BAN におけるマルチホップ伝送の性能評価実験，" 信学ソ大，pp.S59-S60, 2010.
［19］石谷哲典，伊藤友二，川島信，"BSN（Body Sensor Network）に適する心電センサ構成法の研究，" 信学ソ大，pp.S65-S66，2010.

（平成 22 年 11 月 5 日受付，平成 23 年 1 月 5 日再受付）



原　晋介（正員）

1990 阪大大学院博士後期課程了．工博．現在，大阪市立大大学院工学研究科教授．2009 から韓国慶熙大 International Scholar．2010 ～ 11 本会通ソ医療情報通信技術時限研専委員長．IT ヘルスケア学会会員．

小特集　通信技術で医療の世界が変わる

カプセル内視鏡の現状と将来に向けて

穂満政敏 Masatoshi Homan　オリンパスメディカルシステムズ株式会社
滝沢賢一 Kenichi Takizawa　独立行政法人情報通信研究機構

1. まえがき

民生分野における電波利用は，携帯電話や無線 LAN（Local Area Network）などの無線通信機器の普及に伴って拡大の一途をたどっている．医療分野における電波利用は，入院患者の生体情報（心電図，心拍数，呼吸数，血圧，体温，動脈血酸素飽和度等）を医療従事者へ無線によって通知する「医療用テレメータ」が代表的なものであり，1970 年代から医療機関において導入されている［1］．その他にも，心臓ペースメーカや埋込形除細動器のような高度な医療装置を無線制御するための体内埋込形医療用データ伝送システム（MICS: Medical Implant Communications System）が 2005 年に法制化されている．本稿では，医療分野において新しい電波を利用した診断装置であるカプセル内視鏡について紹介する．

カプセル内視鏡は，錠剤ほどの大きさのカプセル形内視鏡装置を水と一緒に飲み込み，体内からの無線映像伝送によって小腸内部を観察することが可能な診断装置である．体内のカプセル形内視鏡装置と体外のアンテナ間は無線化されていることから，患者にとっては負担が少ない検査になる．オリンパスの小腸用カプセル内視鏡は，2005 年 10 月に欧州で販売が開始され，国内においても 2008 年 10 月から販売が始まっている［2］．

2. カプセル内視鏡システム

ここではオリンパスの小腸用カプセル内視鏡システムを例として，システム構成と検査時の使用形態について述べる．

2.1 システム構成

カプセル内視鏡システムは，小腸用カプセル内視鏡（図 1），受信装置（図 2），アンテナユニット（図 2），ビュワー（図 2），ワークステーション（図 3）から構成される．小腸用カプセル内視鏡のサイズは，直径 11 mm・長さ 26 mm であり，この端末内に LED（Light Emitting Diode）照明付きの撮像装置，無線装置，バッテリを具備している．1 秒間に 2 枚の画像を撮像して，これを無線装置（中心周波数は 315 MHz）によって体外の受信装置へ送信している．アンテナユニットと受信装置はドッキングして使用される．カプセル内視鏡から送信される電波の偏波，放射パターン，通信距離による受信映像品質への影響を少なくするために，アンテナユニットには 8 個の受信アンテナを用いてダイバーシチ受信を行う．これは受信アンテナの中から受信状態の良い受信アンテナを選択して復調を行うものである．復調後，受信データを信号処理し，伝送された画像データを受信装置内の記憶素子に蓄積する．検査時間が 8 時間の場合，受信装置には約 6 万枚の画像データが蓄積されることになる．ビュワーは，受信装置にビュワーケーブルによって接続することで，カプセル内視鏡が撮像した画像をビュワー内蔵小形

図 1　小腸用カプセル内視鏡

図 2　受信装置（左上），アンテナユニット及びビュワー

図 3　画像解析を行うワークステーション

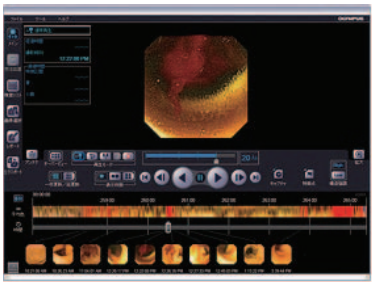


図 4　ワークステーションの操作画面

© 電子情報通信学会 2011

図 5　検査時の受信装置の装着状態

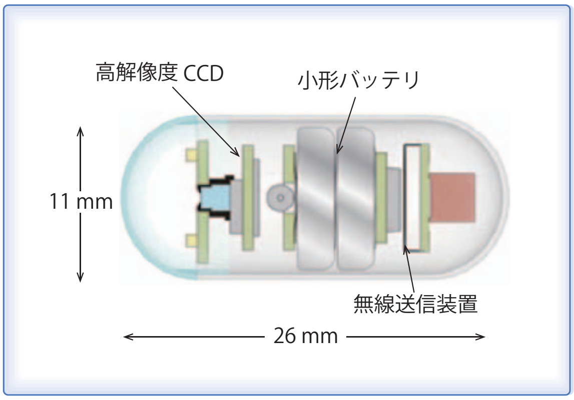


図 6　カプセル内視鏡の構造

図 7　カプセル内視鏡から無線伝送された画像をリアルタイムに観察できるビュワー

カラー液晶でリアルタイムに観察することを可能とする．ワークステーションは，液晶モニタ付きのデスクトップ PC から構成され，受信装置内の記憶素子から画像データを取り込み，専用ソフトウェア（図 4）によって医師による読影作業を支援する機能が搭載されている．

2.2　検査の進め方

カプセル内視鏡検査では，前処置として腸内の内容物を減らすため，検査を始める 8 時間前から患者は絶飲食する（少量の水は摂取可能）．検査直前になって，カプセル内視鏡から送信される電波を受信するためのアンテナユニットを装着する．各アンテナはアンテナカバーと呼ばれる袋状のシートにそれぞれ収納して，患者の上半身の決められた位置に貼付し，その状態で受信装置を腰に装着する．その後で患者は水とともにカプセル内視鏡を飲み込む．飲み込んでから 1 ～ 2 時間経過した後，病院から外出して通常の生活を行うことも可能である（図 5）．また，飲み込んでから 2 時間が経過した後からは水を飲むことができ，4 時間経過後からは食事の摂取もできる．飲み込んだカプセル内視鏡は，消化管の蠕動運動によって小腸まで到達する．そして，8 時間後，アンテナユニットと受信装置を取り外して検査は終了となる．フォローアップとして，排便時にカプセル内視鏡が排せつされたことを確認する．未確認の場合は，投与日から 2 週間以内に X 線撮影を行って，体内に残留していないことを確認する．

2.3　システムの特徴

このように，カプセル内視鏡による検査は，水と一緒に飲むだけで行える比較的に簡単な検査である．検査対象である小腸は，胃・十二指腸から続く大腸までの消化管で，口からも肛門からも遠い距離にある．また，曲がりくねった複雑な構造をしているため，従来の内視鏡ではなかなか観察が難しく，「暗黒大陸」とも呼ばれていた．カプセル内視鏡は，患者の負担も少なく，小腸内を検査できる医療機器としての期待が高まっている．

カプセル内視鏡の構造を図 6 に示す．カプセル内視鏡は，撮像装置のイメージセンサには高解像度 CCD（Charge Coupled Device）を採用して，光学技術や画像処理技術によって鮮明な画像と 145 度の広い視野角を実現している．また搭載している白色 LED の照度をコントロールする自動調光機能を採用することによって，近点のハレーションを抑えて，かつ，遠点は明るく照らすことでクリアな観察視野を実現している．

無線通信機能には微弱無線を利用しており，カプセル内視鏡の無線装置を送信機能のみに限定することによる低消費電力化を行っている．また，受信アンテナは体表に貼付して使用することから，人体の比誘電率による波長短縮を利用し，受信アンテナサイズの小形化を図っている．

リアルタイム観察が行えるビュワー（図 7）は，次に挙げる三つの目的で利用される．一つ目は，検査前にビュワーを使ってカプセル内視鏡の動作確認が行えることである．カプセル内視鏡検査は撮影した静止画像を検査後に医師が解析するシステムであることから，画像が正常に撮影できているかは検査後の画像解析の段階にならないと分からない．ビュワーを利用することによって，検査前に画像伝送の動作を確認することができ，安心して検査を実施できる．二つ目は，検査中にビュワーを通じて胃の通過を確認できる点が挙げられる．カプセル内視鏡の動作寿命は 8 時間程度であることから，胃で長時間留まった場合には電池の消耗から小腸を観察する時間が短くなってしまう場合が生じ得る．よって，ビュワーの画像からカプセル内視鏡の位置を確認し，進み方

が遅い場合には蠕動促進剤等を投与するといった医学的措置を行うかどうかの判断することが可能になる．三つ目は，検査中に大腸に到達したかどうか見ることができる．大腸に到達していれば，早期の検査終了が可能となる．患者はアンテナが貼付されて受信装置を携帯する不自由な状態から早く開放される．また，医療従事者にとっても，読影に取り掛かるまでの時間を短縮できること，読影する画像データ数を削減できるメリットがある．

ワークステーションにおける医師の読影をサポートする機能としては，粘膜色の差や微小な粘膜構造の観察を支援するために，画像再生時に 8 段階に切り換えられる構造強調機能などが具備されている．その他，図 8 に示すように，全検査画像の中から動きの大きい画像を自動選択して静止画で一覧表示するオーバビュー機能を備えている．

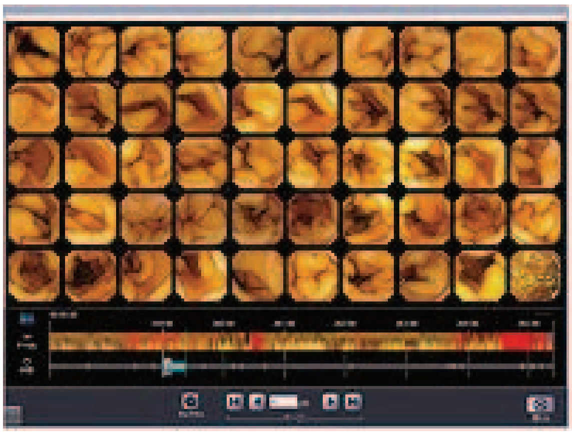


図 8　画像が一覧表示されるオーバビュー表示

3. カプセル内視鏡における無線通信技術

3.1　利用可能な周波数帯

ここでは，カプセル内視鏡に利用可能な周波数について考える．まず，国内における医療応用を主とした通信用途の周波数割当には，以下に示す二つの周波数帯が存在する．

（1）ARIB STD－21 特定小電力無線局

（周波数は 420 ～ 430 MHz 及び 440 ～ 450 MHz）

医療用テレメータ用無線設備，占有帯域幅の上限値は 320 kHz.

（2）体内埋込形医療用データ伝送システム

（周波数は 402 ～ 405 MHz）

占有帯域幅の上限値は 300 kHz だが，これらの周波数帯においては，許容される占有帯域幅が狭いため，カプセル内視鏡において必要とされる伝送速度を達成することが困難である．

広帯域な周波数を利用できる周波数帯という観点からは，微弱無線の利用が挙げられる．微弱無線は図 9 に示す電界強度以下（無線設備から 3 m の距離において）の範囲で認められる無線利用である [3]．その他，無線 LAN や Bluetooth などの数 MHz 以上の帯域幅を利用するシステムが使用する 2.4 GHz ISM（Industry Science Medical）帯が挙げられる．

これらの周波数帯でカプセル内視鏡に適した周波数はどれになるだろうか．人体の電気定数（例えば人体の筋肉組織では，400 MHz において比誘電率が約 55，導電率は約 0.8 となる [4]）から体内電波伝搬による減衰を計算し，適した周波数を見いだすことが必要になる．

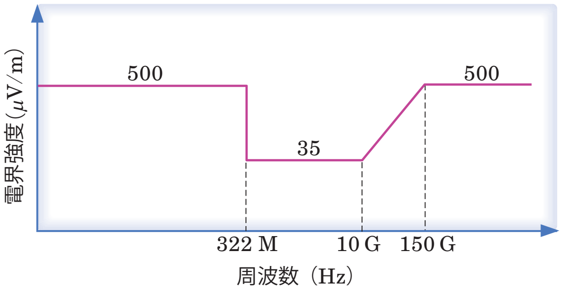


図 9　微弱無線局における電界強度の制限値

3.2　カプセル内視鏡に適した周波数帯

結論から述べると，システム構成で紹介したシステムでは，無線通信における中心周波数を 315 MHz とした微弱無線を用いている．なぜこの周波数帯が実際に利用されているシステムで採用されているのか，ここでは考えてみる．

まずは，カプセル内視鏡において許容される電波伝搬損を計算するために，受信機の受信感度を仮定する．例えば，受信機のチャネル帯域幅（BW：Band Width）を 10 MHz，受信機の雑音指数（NF：Noise Figure）を 5 dB とする．FSK（Frequency Shift Keying）変調を採用して受信機で非同期検波を用いる場合，要求ビット誤り率を 10^{-5} とすると，所要信号対雑音比（SNR：Signal to Noise Ratio）は約 13 dB となる．以上から，受信感度 P_r は，以下の式から，約 －86 dBm と計算される．

$$P_r = -174 + 10\log_{10}\mathrm{BW} + \mathrm{NF} + \mathrm{SNR}\ (\mathrm{dBm}) \quad (1)$$

体内における許容損失を計算するにあたって，考慮すべき点は次のとおりである．1 点目は，受信アンテナの利得についてである．カプセル内視鏡による診断において

使用される受信アンテナは，体表に貼付されるために小形にする必要がある．よって，アンテナの効率は低くならざるを得なく，受信アンテナにおける損失として 10 dB を考慮する．2 点目は，微弱無線における電界強度に関する制約である．カプセル内視鏡の無線通信として微弱無線局を仮定すると，送信機からの距離 3 m において電界強度が 500 μV/m 以下である必要がある．半波長ダイポールアンテナを仮定すれば，アンテナに入力される入力電力 P_t は，以下の式から − 43.4 dBm と計算される．

$$P_t = 10\log_{10}((E \cdot d)^2/49) + 30\ (\mathrm{dBm}) \qquad (2)$$

E：電界強度（V/m）

d：距離（m）

以上から，カプセル内視鏡の送信出力を，微弱無線局の規格を超えないようマージンを取って，P_t = − 45 dBm とすれば，先に求めた受信感度 P_r は − 86 dBm，アンテナ損失 10 dB を考慮して，体内組織の伝搬中に許容される損失は 31 dB となる．

この許容される損失において，どの程度の通信距離が達成されるのであろうか．図 10 に示すような人体組織等価の電気定数を持つ液体ファントムを使用した測定［5］から，図 11 に示すように，400 MHz 付近における距離当りの伝搬損は 2.5 dB/cm であることが分かった．315 MHz においてもほぼ同じ減衰であるとすれば，許容される伝搬損が 31 dB の場合，通信可能な距離は 12.5 cm になる．これは小腸検査においては十分な通信距離であると考えられる．

一方，2.4 GHz は利用できるであろうか．2.45 GHz における距離当りの減衰量は 7.0 dB/cm であった．このとき，12.5 cm の伝送距離では減衰量が 87.5 dB となる．315 MHz における減衰量と比較して，55 dB 以上の利得付加が必要になる．微弱無線局と比較して，受信アンテナ損失値の改善や送信電力の増加によって，回線設計上では通信可能とすることも可能である．しかしながら，距離増加に対する減衰量増加の傾きが大きい 2.45 GHz では，必要な通信距離が長くなるような場合（肥満体の場合など）においては，映像伝送用の通信が切断する率が高くなり，通信への安定性に問題が残ることが考えられる．また，消費電力の観点からも，例えば送信電力 P_t を 10 dBm とすれば，2.4 GHz でも受信感度は − 86 dBm とすることができる．しかし，送信電力を 10 dBm にするためにはパワーアンプを実装することが必要になることから，カプセル内視鏡に内蔵された小形バッテリを利用しての 8 時間動作の実現が困難になると思われる．

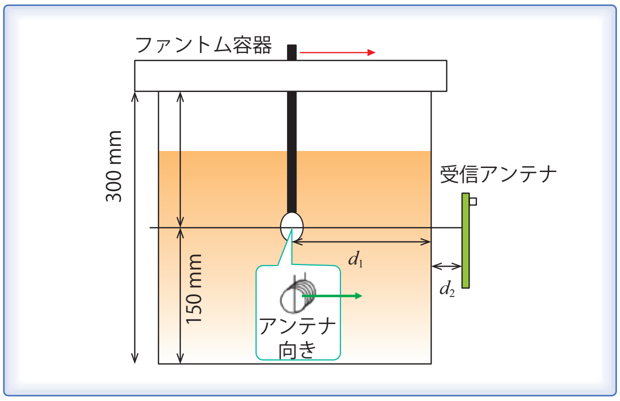


図 10　液体ファントムによる信号強度測定

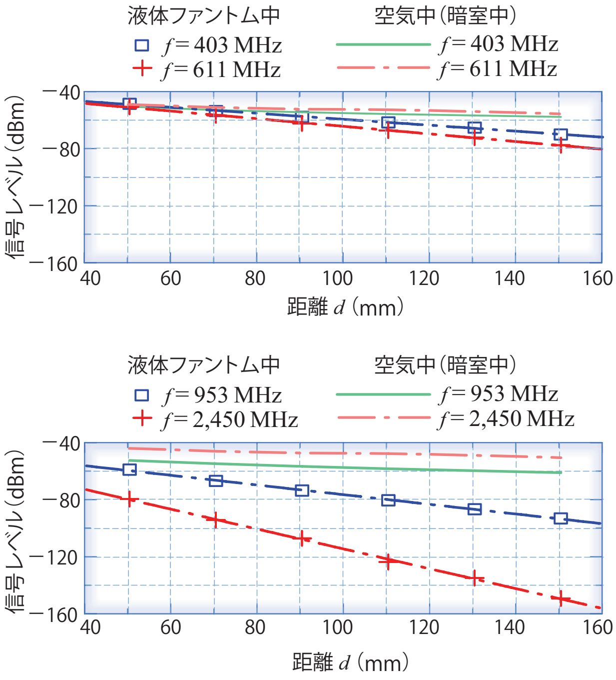


図 11　液体ファントムを利用した距離減衰測定結果

以上のことから，例として挙げたカプセル内視鏡システムでは，8 時間の確実な画像伝送の実現を優先するという観点から，315 MHz 帯の微弱無線局を採用している．

4. 将来への期待

一つ目の期待は機能についてである．現在は体内からの映像伝送のみが機能として提供されているが，将来的には薬剤放出の指示，体液採取の指示，マニピュレータの操作等，体内から伝送された映像情報に基づくカプセル内視鏡へのフィードバック制御機能の実装が期待されている．フィードバック制御を行う場合，現在の単向通信か

ら双方向通信へ機能向上を図る必要がある．また，遅延時間が少ないアクセス制御技術の実装が必要になる．フィードバック機能の他，映像データの高品質化もまた必要な技術である．周波数利用効率が高い通信方式を採用することによって，広視野・高解像度・高フレームレートを提供可能な付加価値の高いカプセル内視鏡の提供が実現できる．ただし，低消費電力での動作は必須であることから，半導体プロセス技術の進展並びに無線送受信機の回路構成技術の双方において，技術進歩が必要になる．

二つ目の期待は電源についてである．現状のカプセル内視鏡の動作時間は，内蔵電池の容量と，撮像装置と無線装置の消費電力によって限定されてしまう．動作時間の伸長を実現するためには，体内のカプセル内視鏡に対して，体外から電源供給するワイヤレス給電技術が必要になる．

三つ目の期待はネットワークへの接続による遠隔からのデータ伝送の実現である．カプセル内視鏡の受信装置に蓄積された検査データは，受信装置を医療施設に持ち込み，読影用ワークステーションへ読込みを行うまでは，医師による読影作業を開始することができない．既存広域ネットワークインフラストラクチャを利用することによって，例えば携帯電話を使用することによって検査データを医療施設へ伝送することが可能になれば，検査終了時から受信機を医療施設に持ち込むまでの時間を省略することができ，利便性が向上するものと考えられる．

5. むすび

カプセル内視鏡システムは，無線通信を導入することによって，これまで容易に検査が行えなかった小腸内を映像によって検査を行えるようになり，検査時の苦痛も軽減された．このように，無線を利用することによって，医療従事者と患者の双方に利益がもたらされる事例があることから，今後も無線通信技術を利用する医療機器は増加するものと考えられる．カプセル内視鏡における無線通信技術を含めて，医療分野で利用される近距離ワイヤレス技術は，通信品質の均一化や技術の発展・成熟が不可欠であることから，仕様の標準化が必要になる．よって，無線ボディエリアネットワーク（BAN：Body Area Networks）標準化が進められている IEEE802.15.6［6］への期待は高い．

医療機器への安全な無線通信技術の利活用にあたっては，標準化による技術の成熟だけでなく，新たな医療用周波数帯の整備もまた検討する必要がある．微弱無線はキーレスエントリーシステムなど，多数の電波利用装置で使用されているため，電磁干渉問題への懸念が排除できない．医療用周波数帯であれば，無線システム間での電磁波干渉が生じる可能性が少なくなり，カプセル内視鏡の応用においては，高品質な画像による消化器官診察の実現や，将来的には薬剤放出やマニピュレータの高信頼制御を実現できる，新たな付加価値を持つ機器が登場する可能性が高まる．また，体内映像データの無線伝送だけではなく，無線による電源供給（ワイヤレス給電）にも注目が集まっている．データ伝送チャネルとの電磁干渉を避ける必要があるため，電源供給用周波数帯の整備並びに医療機器への利用に際するガイドラインの整備もまた必要であると考える．

文　献

［1］野村民也（監修），テレメータとテレコントロール，電子情報通信学会，1984.
［2］ニュースリリース，http://www.olympus.co.jp/jp/news/2008b/nr080910capsulej.cfm
［3］微弱無線の規定，http://www.tele.soumu.go.jp/j/ref/material/rule/index.htm
［4］http://www.fcc.gov/fcc-bin/dielec.sh
［5］滝沢賢一，青柳貴洋，穂満政敏，浜田リラ，石上忍，小林岳彦，高田潤一，河野隆二，“インプラント WBAN を想定した液体ファントムによる電波伝搬損失の測定，”信学技報，MICT 2008-7, pp.63-68, Jan. 2009.
［6］IEEE802.15.6 WPAN Body Area Networks, http://www.ieee802.org/15/pub/TG6.html

穂満政敏

昭 58 宇都宮大卒．現在，オリンパスメディカルシステムズ株式会社未来画像機器開発部課長．カプセル内視鏡の開発に従事．

滝沢賢一（正員）

平 15 新潟大大学院博士後期課程了．博士（工学）．同年，独立行政法人通信総合研究所（現在，情報通信研究機構）．現在，ディペンダブルワイヤレス研究室主任研究員．医療支援用ワイヤレスに関する研究に従事．

手術用ロボットシステムから見た無線通信技術への期待

大森　繁 Shigeru Omori テルモ株式会社
滝沢賢一 Kenichi Takizawa 独立行政法人情報通信研究機構

1. まえがき

近年，手術室における技術革新が進んでいる．本来，手術は医師の知識と経験に基づいて人の手で行われるものであるが，画像診断技術を取り込むことによって，手術の質を向上させることが可能となってきている．例えば，オープン MRI（Magnetic Resonance Imaging，核磁気共鳴画像法）を用いた脳外科手術においては，術中撮影画像による手術ナビゲーションシステムが開発されている［1］．これは術中に MRI で撮影を行うことにより，腫瘍を取り除いている作業中において，どの部分が残存している腫瘍であり，どこが正常組織かを術者に提示するシステムである．この術中画像診断技術の採用によって，腫瘍の取り残しを大幅に減少できるようになり，5 年生存率の向上が確認されている．また , 一般外科の手術室においても，壁面に大画面液晶モニタを設置し，手術スタッフ間で共有されるべき情報の表示が試みられている．このような情報共有によって，手術中のリスクを低減することが可能となる．近い将来には，全てディジタルデータによって画像が取り扱われ，手術室からシャウカステン（X 線画像を読影する際に使用する電灯付装置）が消えることも予想される．

進歩しているのは画像に関連した技術だけではない．例えば，米国ベンチャー企業が製品化した手術用ロボット da Vinci［2］は，手術室のオートメーション化を基本コンセプトとして開発され，2010 年現在，全世界で 1,000 台以上が設置されるに至っている．手術用ロボットの使用に際して，医師は車の操縦を習うようにしてロボット操作を習得する．将来的には，こうした手術ロボットを映像ナビゲーション技術と組み合わせることによって，高精度の手術が実現できるようになるものと期待される．手術用ロボットの登場は特にセンセーショナルであったが，人間の五感を駆使する外科手術の現場にも，ディジタル化の波が押し寄せてきているといえる．

手術における情報通信技術導入によるリスク軽減への期待が高まる一方で，手術室内で使用される医療機器間でのネットワーク接続は普及していない．これは手術行為自体が常に患者の生命に関わるリスクを抱えていることから，手術中に使用される医療機器は安全に利用できることが最優先されるためである．すなわち，医療機器には極力シンプルでかつ高い堅牢性が求められ，図 1 に示すように，一般的にはスタンドアロン構成を採用していることが，ネットワーク化普及のハードルともなっている．しかしながら，先にも述べたように，外科手術は年々進歩しており，特に映像データを扱う内視鏡を用いた手術の際には多くの医療機器が使用される．将来的には，医療機器間がネットワーク化されて，各医療機器のステータス情報や映像情報を一元管理する統合化の動きが進むものと考えられる．術中における多様な情報を効果的に利用することで，手術自体の精度向上並びにリスク軽減が期待される．

本稿では，ネットワーク技術の導入—特に無線通信ネットワーク技術が手術用システムへ与えるメリットとデメリットについて，手術用ロボットを例として挙げて述べたい．以降，手術室内で利用される医療装置と安全利用に関する動向を述べた後，手術用ロボットにおいて

図 1　手術室へ持ち込まれる医療機器の例［3］

© 電子情報通信学会 2011

要求される通信技術について触れる．その後，脳外科手術用ロボットへの無線通信導入の実験結果を示し，実験結果から得られた課題から，無線通信技術進歩への期待について述べる．

2. 外科手術の現場

一般的な外科手術室の広さは 10 m × 10 m 前後であって，中央付近に手術台が設置される．図 2 に示すように，手術が行われていないときは広く感じるが，手術中には医師や看護師などのスタッフが，少なくとも 4 ～ 5 名が手術台を取り囲む．スタッフは手術中には移動し，必要に応じて手術用の医療装置を持ち込むことから，手術室内で自由に利用できる空間は限定されている．また，手術室内は手術台を中心とした清潔野とその周辺の不潔野とに区別され，清潔野はドレープで覆われることから，スタッフは動きに制約を受ける．そこで，手術を行うスタッフの動線を妨げないように，無影灯（手術用の照明）は早くから天井つりタイプのものが導入された他，内視鏡手術に使われるタワー（様々な装置が入った専用ラック）も最近は天井つりタイプとする施設が増えている（図 3）．設置に比較的大きな空間を要する麻酔関連の装置であっても，天井つりタイプのものが開発されている．このトレンドは，床に横たわるケーブル類を減らすことによって，スタッフの移動における制約を削減し，手術中におけるリスクを低減させることを目的としている．

(a) 手術室の全景

(b) 手術中の様子

図 2　外科手術現場の例 [4]

(a) 無影灯とモニタ

(b) 内視鏡タワー

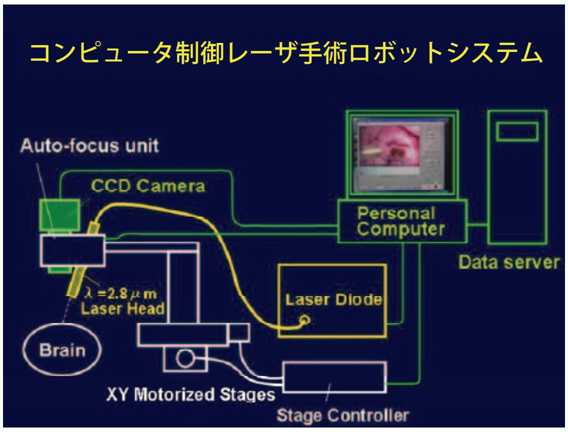
図 3　手術室内機器の設置例

外科手術で用いられる装置は，一般的には，電気メスをはじめとするエネルギーデバイスと呼ばれる装置や，画像診断装置等，2 ～ 3 種類に限られている．これらの装置は必要なときのみ手術室内に運び入れて使われることが多い．したがって，ケーブル敷設を行った状態で機器が固定設置されることはなく，使用する都度に接続を行う必要がある．先に述べたような医療機器をネットワーク化する際には，一時的に使用される装置を含めて，手術の度にケーブルによるネットワーク接続を行うことになる．

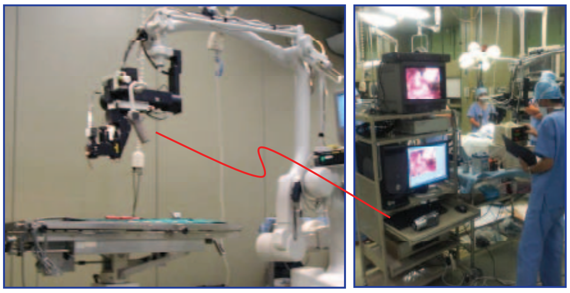
3. 手術システムへの無線通信技術の導入

手術システムの例として手術用ロボットを挙げて，無線通信技術が導入されることによるメリットとデメリットを考える．手術用ロボットシステム da Vinci はマスタ・スレーブ方式を採用している．マスタ部分は執刀医が操縦するコンソール形のユニットとなっており，手術室の片隅に置かれる．一方，スレーブ部分は手術器具を

マニピュレートするロボットカートとして構成され，手術台脇にセットされる．これらコンソールとロボットカートは制御ラインで接続される必要があるため，多数の配線ケーブルが床をはうことになる．ケーブルを床にはわすことはスタッフの行動へ制約を与えることから避けるべきであり，またネットワークを構成する際の配線はスタッフの作業負荷となる他，接続ミスが生じる原因ともなり得る．このことから，制御ラインやネットワーク接続への無線通信の導入は，行動範囲への制約削減並びに配線作業の不要化のメリットがある．また，配線によって清潔野を汚す懸念もなくなることもメリットとして挙げられる．しかしながら，無線化を実現するためには課題も存在する．手術用ロボットにおいては，手術者が必要とする解像度・伝送遅延を担保する映像データの無線伝送に加えて，映像データを元にしたフィードバック制御においてもリアルタイム性が求められる．また，伝送されるコンテンツの情報保護についても配慮が必要である．



(a) システム構成



(b) 外観（左：カメラとレーザヘッド，右：医師が操作を行うコンソール端末）

図 4　脳外科用レーザ手術ロボットの概要 [5]

4. 脳外科手術用ロボットを用いた評価

ここでは，著者らが開発を進めている脳外科手術用ロボットシステム [5] を例として，手術用システムにおける無線通信技術への要求を示す．また，このシステムに無線通信技術を導入した際の性能評価を行ったので，この結果を示す．

4.1 脳外科手術用ロボットの構成

この手術用ロボットは，医師が操作したとおりにマニュピレータが動く da Vinci とは異なり，自動操縦の要素を含んでいる．具体的には，診断画像をシステムに取り込んでモニタ画面に表示，治療する領域を医師が指定することにより，後は自動制御でレーザ照射による治療を行うコンセプトである．図 4 に構成及び実験機の外観写真を示す．治療用のレーザヘッドは術野を観察する CCD（Charge Coupled Device）カメラと一体化して照射ユニットを構成し，医師による制御用端末からのコマンド入力によって，移動ステージが駆動して指定された領域内をレーザ照射する．指定された輪郭内を照射し終えると，自動的にレーザ照射及び移動ステージ動作が停止する機構を有する．制御用端末は医師が操作するコンソールの役割を果たし，モニタは手術の実視野と診断画像とを映す．制御用端末とレーザ照射ユニット間は，映像信号と制御信号とをやり取りするケーブルで結ばれており，このケーブルがシステムの生命線となる．

次に，この手術用ロボットシステムにおいて，制御用端末とレーザ照射ユニット間の無線化における要求仕様を考える．映像信号については，HD（High Difinition）画質相当のデータを伝送する必要があり，制御信号についてはリスク回避の観点から 10 ms 以下の応答速度が求められる．映像データによって制御信号が送信される映像誘導システムであるため，遅延時間への要求から，MPEG（Moving Picture Expert Group）等のフレーム相関を利用する動画像符号化の採用は適さないことになる．医師は常に治療中の映像を見ながら，万一危険を感じた場合には即時レーザ照射を停止しなければならないため，映像信号が途絶えることは重大なリスクを生むことになる．また，制御信号が途切れることによって，移動ステージが途中で停止したり，誤動作したりすることがあってはならない．以上のように，無線通信を導入するにあたっては様々なリスク分析を行った上での導入が

不可欠となる．手術室内で利用される場合，本手術用ロボットシステムの無線化に対する要求を整理すると以下のようになる．

① 遅延時間は 10 ms 以下とすること

② 一般的な手術室環境（金属物が多く存在，人の往来有，10 m × 10 m のサイズ）においても通信遮断が起きないこと

③ 手術室内外の無線ネットワーク及び電磁雑音源による干渉に対してロバストであること

以上の要件を満たし得る無線通信の候補として，60 GHz 帯無線伝送が挙げられる．この周波数帯では，数 m 程度の近距離において 1 Gbit/s を超える実効伝送速度を提供する方式が登場している [7]，[8]．また，周波数が高いことから距離減衰が大きいため，手術室内外でのシステム干渉は生じにくく，また手術室内で発生する環境雑音とも周波数を異にする [6]．IEEE 802.15.3c などの物理層標準仕様も策定されていることから，今後，実装技術の成熟にも期待ができる．手術室内における 60 GHz 帯無線利用については，IEEE802.11 においても利用モデルとして議論されるなど，注目を集めている [9]．

4.2 無線利用による手術用ロボット制御実験 [10]

60 GHz 帯を利用する無線通信を手術用ロボットへ適用した実験を行った．脳外科用手術ロボット実験機において，CCD カメラの映像信号を無線で制御端末へ伝送するシステムを構築した．実験で使用した CCD カメラ及び無線通信の各仕様を表 1 に示す．CCD カメラは SXGA（Super eXtended Graphics Array）対応で，フレームレートは 30 フレーム / 秒であり，GigE Vision インタフェースを備える．無線通信は NEC エンジニアリング製 BB.LiNK [11] を用いた．実測における最大スループットは 900 Mbit/s を超えたことから，SXGA レベルの解像度を有する動画データでも非圧縮で伝送可能である．送受信機間距離を 4.5 m としたとき，制御端末と CCD カメラ間のラウンドトリップ時間は 1 ms 以下であった．よって，遅延時間に関する要求条件も満たされている．距離を 4.5 m とした理由は，10 m × 10 m の手術室中央に CCD カメラを含む照射ユニットが配置され，部屋の隅に制御端末は配置される場合を想定しているためである．

このシステムにおいて，無線伝送される映像データによる誘導の下，既定照射パターンをレーザ照射させる実験を行った．照射の誤差から性能を評価する．伝送距離は最大 4.5 m とした．レーザスキャン速度は，脳外科手術治療と同じ 4 mm/s で行った．結果，レーザ照射中において，リアルタイムでモニタしている映像には遅延は感じられず，また描かれた既定パターンの精度においても，有線の場合と同等の性能を示すことが分かった（表 2）．一方で，送受信機間を人が遮る場合には通信中断が生じることが分かった．適応ビームフォーミングの採用 [12] など，60 GHz 帯無線利用における通信遮断への対策技術も登場していることから，将来的には解決されるものと期待している．60 GHz 以外の周波数帯の利用については，5 GHz 帯を利用した手術室内モニタ無線映像伝送システムが製品化されていることから [13]，HDTV 伝送用 5 GHz 帯無線システム [14] もまた評価を行う候補となり得る．

表 1　無線伝送制御実験における諸元

(a) CCD カメラ

製品名	JAI 社製　CB-140GE
画素数	1,392（h）× 1,040（v）
フレームレート	30 フレーム / 秒
インタフェース	GigE Vision

(b) 60 GHz 帯無線伝送システム

製品名	NEC エンジニアリング社製　BB.LiNK
伝送方式	双方向全二重通信
伝送速度	最大 1.25 Gbit/s
インタフェース	1000 BASE-SX

表 2　無線伝送制御によるレーザ照射結果

接続方法	照射誤差
有線接続（参考値）	0.04 mm
無線接続（距離 =1.5 m）	0.06 mm
無線接続（距離 =3.0 m）	0.04 mm
無線接続（距離 =4.5 m）	0.04 mm

5. む　す　び

今後，診断と治療が融合していけば，手術場においても画像を含めた大容量データのやり取りが不可欠となる．通信手段を無線で統一できれば，少なくとも情報通信系の電気配線ケーブルからは開放され，手術スタッフにとっては作業効率の向上などの大きなメリットとなる．しかしながら，これまで述べてきたとおり，手術室

内は安全が第一優先であるため，伝搬経路遮断等による回線切断など，無線特有の問題は深刻なリスク要素となる．特に治療に直接関わる装置の通信エラーは重篤な医療事故につながりかねないため，そのリスクをマネジメントする必要がある．無線利用にあたっては，手術室の通信環境やあらゆる電磁干渉の可能性を精査した上で，その対策を講じて確固たる信頼性を確立しておく必要がある．こうした問題は，これまでの医療機器の歴史の中では未経験の領域であり，導入時のリスクマネジメントに関わる規格や，その利用に際するガイドライン［15］の整備もまた今後必要になると考えられる．

別の観点として，セキュリティ面での課題も存在する．患者やその親族しか知り得ない患者本人の個人情報を扱うリスクである．手術室外への信号のリークや故意による傍受を防ぐためには，手術室内を電磁波的に閉じられた空間にする配慮が必要となる可能性もある．手術室内のみならず，病院施設全体の無線ネットワークという枠組みで考えることも必要である．

以上で述べたように，手術室内の無線化は手術室内のハイテク化を支援するとともに，医療スタッフの作業効率を高める上で大きなメリットをもたらすことが期待できる．その一方で，通信品質とセキュリティ面におけるリスクに関しては，他の応用分野とは異なる次元で議論されるべきであり，今後無線利用を進めていくに際しては，医療現場に立脚した見地より技術横断的な取組みが必要であると考えられる．

文　献

［1］伊関洋，村垣善浩，丸山隆志，中村亮一，“新しい治療体系 MRI 下の脳外科手術，” 現代医療，vol. 36, no. 1, pp. 175-180, 2004.

［2］da Vinci surgery, http://www.davincisurgery.com/

［3］ERBE VIO300D, http://www.erbe-med.com/de/medical-technology/public/Products/Electrosurgery/Electrosurgical-units/VIO-System/VIO---300-D.707
The ForceTriad™ energy platform, http://www.forcetriad.com/forcetriad/pages.aspx?page=Energy
Harmonic Scalpel Ⅱ, http://www.atomvetme.com/?page_id=2694

［4］四谷メディカルキューブ，http://www.mcube.jp/operative/index.html

［5］S. Omori, R. Nakamura, Y. Muragaki, and H. Iseki, “Computer controlled mid-infrared laser surgery system in neurosurgery,” Proc. 5th Congress of Asian Society of Stereotactic Functional and Computer Assisted Neurosurgery, p. 84, Nov. 2004.

［6］川瀬隆治，“医療施設における電磁波環境の実測例，” 日本生体医工学会専門別研究会　医療・福祉における電磁環境研究会，Dec. 2005, available at http://www.bme-emc.jp/pdf/1203kawase.pdf

［7］IEEE802.15 WPAN Task Group 3c（TG 3c）Millimeter Wave Alternative PHY, http://www.ieee802.org/15/pub/TG3c.html

［8］Wireless HD, http://www.wirelesshd.org/

［9］A. Myles and R. de Vegt, “Wi-Fi alliance（WFA）VHT study group usage models,” doc. IEEE802.11-08/451r0, April 2008.

［10］K. Takizawa, S. Omori, H. Harada, R. Nakamura, Y. Muragaki, and H. Iseki, “A feasibility study on image-based control of surgical robot using a 60-GHz wireless communication system,” Proc. IEEE EMBC 2009, Aug. 2009.

［11］ミリ波（60 GHz）ブロードバンドトランシーバ BB.LiNK, http://www.nec.co.jp/solution/engsl/pro/bblink/

［12］SiBeam, “A 4-Gbps uncompressed wireless HD A/V transceiver chipset,” available at http://www.sibeam.com/ whtpapers/IEEE_Micro08_SiBEAM_4Gbps_Uncompressed_Wireless_HD_AV_Transceiver_Chipset2-1.pdf

［13］Stryker WiSe 26″ HDTV Wireless Display, http://www.stryker.com/en-us/products/Endoscopy/VisualizationandDocumentationSystems/MonitorsandDisplaySystems/WiSe26inHTDVWirelessDisplay/index.htm

［14］Wireless Home Digital Interface（WHDI），http:// www.whdi.org/

［15］IEEE11073-00101, “Health informatics – PoC medical device communications: Guidelines for the use of RF wireless technology,” Dec. 2008.

大森　繁

1982 芝浦工大大学院電気修士課程了．同年，松下電器産業株式会社入社．ブラウン管，波長変換素子の研究開発に従事．1993 テルモ株式会社入社．同社研究開発センターにて，マイクロマシン，医療用レーザ，マニピュレータの研究開発に従事．博士（医学）．

滝沢賢一（正員）

平 15 新潟大大学院博士後期課程了．博士(工学)．同年，独立行政法人通信総合研究所（現在，情報通信研究機構）．現在，ディペンダブルワイヤレス研究室主任研究員．超広帯域無線，医療支援用ワイヤレスに関する研究に従事．

小特集　通信技術で医療の世界が変わる

Thermal Therapy 実用化のためのアンテナ技術と課題

Antenna Technologies for Thermal Therapy

伊藤公一 Koichi Ito†

Summary アンテナ技術は通信や放送だけでなく，医療分野にも幅広く応用されている．アンテナ技術の治療への応用については，電磁波が人体に与える熱的作用（適度な温度上昇あるいは焼しゃく・凝固等の現象）を用いており，最近では“Thermal Therapy”と呼ばれることが多い．本論文では，最初にThermal Therapyとして用いられる幾つかの手法や動作原理及び使用周波数の違い，更に代表的な性能評価方法について述べる．次に，マイクロ波で用いられる加温方式・システム及び主な加温用アンテナを概説するとともに，一例として臨床応用されている同軸スロットアンテナについて説明する．続いて，Thermal Therapyの実用化に向けた研究・開発の現状と課題を幾つかの視点から述べる．

Key words アンテナ技術／Thermal Therapy／ハイパサーミア／アブレーション／マイクロ波／ラジオ波／SAR／温度分布／同軸スロットアンテナ

1 まえがき

アンテナ技術は単に通信や放送だけでなく，治療，診断，医療情報伝送など，医療分野にも幅広く応用されている．アンテナ技術の治療への応用については，電磁波（特にマイクロ波）が人体に与える熱的作用，すなわち適度な温度上昇あるいは焼しゃく・凝固等の現象を用いている．それらの主なものとして，

- がんのハイパサーミア（Hyperthermia；温熱療法）[1]～[3]
- がんの焼しゃく療法（Ablation）／凝固療法（Coagulation）[4]，[5]
- 不整脈治療（カテーテルアブレーション）[6]
- 前立腺肥大症の治療［7］

などがある．最近では，これらを総称して英語では“Thermal Therapy”と呼ばれることが多い．まさに患部の温度（Thermal）上昇を用いた治療法（Therapy）である．我が国でも「サーマルテラピー」などと呼ばれる代替療法があるが，本論文で述べる“Thermal Therapy”とは区別する必要があろう．なお，これとは別に，温度を下げる低温療法（Hypothermia）も温度変化を用いるということでThermal Therapyに入れる場合があるが，ここでは前記の意味でThermal Therapyという用語を用いることにする．

Thermal Therapyあるいはハイパサーミアに関する学会として，北米にはSTM（Society for Thermal Medicine），ヨーロッパにはESHO（European Society for Hyperthermic Oncology），アジアにはASHO（Asian Society for Hyperthermic Oncology），そして日本には日本ハイパーサーミア学会（英語名称はJSTM：Japanese Society for Thermal Medicine）が存在し，それぞれ活発に活動しているとともに，互いに連携している．特に，全てに共通した国際論文誌としてInternational Journal of Hyperthermia（通称，オレンジジャーナル；表紙の色がオレンジ）はこの分野で高い評価を得ている．また，4年に1回，国際会議（ICHO）が世界各地で開催され，次回は2012年に日本の予定である．関連した学会としては，IEEE（主にAP-S, EMB-S, MTT-S）及びBEMS（Bioelectromagnetics Society）などがよく知られている．

本論文では，**2.** でThermal Therapyとして用いられる幾つかの手法や動作原理の違い，及び代表的な性能評価方法について述べる．**3.** ではマイクロ波で用いられる加温方式・システム及び主な加温用アンテナを概説するとともに，一例として同軸スロットアンテナについて説明する．**4.** では，Thermal Therapyの実用化に向けた研究・開発の現状と課題を幾つかの視点から述べ，最後に **5.** でむすびとする．

† 千葉大学大学院工学研究科メディカルシステムコース，千葉市
Department of Medical System Engineering, Chiba University, Chiba-shi, 263-8522 Japan

 © 電子情報通信学会 2011

2 Thermal Therapyとは？

前述のように，Thermal Therapyには様々な治療法があるが，その装置の基本構成は一般的に図1のように表すことができる［3］．ただし，治療法によっては冷却部あるいは温度計測部を省略する場合もある．Thermal Therapyは，適用する温度範囲の違いにより，ハイパサーミア（温熱療法）及びアブレーション（焼しゃく療法）あるいはコアギュレーション（凝固療法）の二つに大別できる．また，使用する周波数の違いにより，ラジオ波及びマイクロ波と呼ばれる帯域が主として用いられる．ここでは，それらの違いについて概説するとともに，代表的な性能評価方法について簡単に述べる．

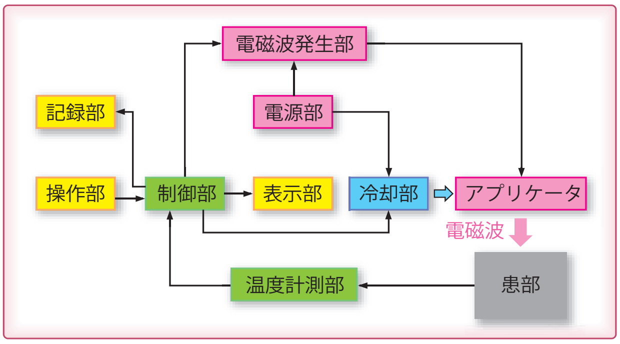


図1　Thermal Therapy装置の基本構成

2.1　ハイパサーミアとアブレーション

ハイパサーミアは，がん組織と正常組織との間にある温熱感受性の差を利用した治療法である．これまでの生物学的研究から，生体組織をおよそ42～45℃程度に加温することにより，正常組織にはあまりダメージを与えず，がん組織の生存率が急激に低下することが知られている［1］．したがって，的確に加温することができれば，がん組織のみを選択的に殺傷することが可能である．実際には，がん組織のみを42～45℃程度に一様に加温することは困難であり，しかも腫瘍の内部は45℃以上になっても特に問題ないといわれているため，「温め残し」がないように腫瘍の辺縁部が確実に42℃以上となることが重要である．ときどき，ハイパサーミアの治療後にがんが再発したということを聞くことがあるが，多くの場合は「温め残し」が原因と思われる．また，ハイパサーミアは，従来のがん治療法と比べて副作用が少ないのも大きな特長である．なお，治療に要する時間は30分～1時間程度である．

放射線治療と併用すると，41℃程度の加温（41℃程度の加温をマイルドハイパサーミアと呼ぶ）でも十分に放射線治療の効果を高めることが知られている［1］．容量が大きいがん組織は放射線治療だけでは十分な治療効果が得られにくいといわれているが，これはハイパサーミアとの相乗効果が大きいことから，ハイパサーミアと放射線治療はよく併用される．後述の**4.3**で一例を紹介する．また，ハイパサーミアは抗がん剤と併用しても，抗がん剤の効果を増強させることができる．更に，体を温めることによって免疫力が活性化されるといわれている．免疫力が高まると，がん組織を自分自身の力だけで排除する働きが高まるため，最近では，免疫力を高める効果を期待してハイパサーミアを行うことも多い．

一方，アブレーションとは，もともと「取り除くこと，切除すること」という意味である．医学的には，カテーテルの先端から高周波電流を流して，接している生体組織を小さく焼き切ることが以前より行われている．よく知られた例としては，不整脈治療の目的で心臓へカテーテルを挿入するカテーテルアブレーションなどがある［6］．また，コアギュレーションは名前のとおり，生体組織を高温にして凝固させる手法であり，肝臓がんなどに適用されているほか，手術の際の止血にも用いられている．いずれにしても，生体組織の温度を60～70℃以上にするため，治療時間は数分間程度と短くて済むが，正常組織に対する損傷はある程度避けられない．

2.2　ラジオ波とマイクロ波

Thermal Therapyに使用される周波数の違いにより，ラジオ波及びマイクロ波と呼ばれる帯域が主として用いられる．低い周波数を意味するラジオ波としては，RFA（Radio Frequency Ablation，ラジオ波焼しゃく療法）に用いられる数百kHz帯や誘電加温に用いられている8 MHzや13.56 MHzが代表的である．

RFAは近年，肝臓を中心に急速に行われるようになった治療方法である．この治療は，図2に示すように，直径1～2 mmの針状電極をがん組織内に挿入するとともに，体表に面状の外部電極を貼付し，高周波電流を電極間に流して加熱（焼しゃく）する方法である．一般的には大きさが約3 cm程度までのがん組織に適用可能とされている．細い針電極を刺すだけであるため，外科的治療

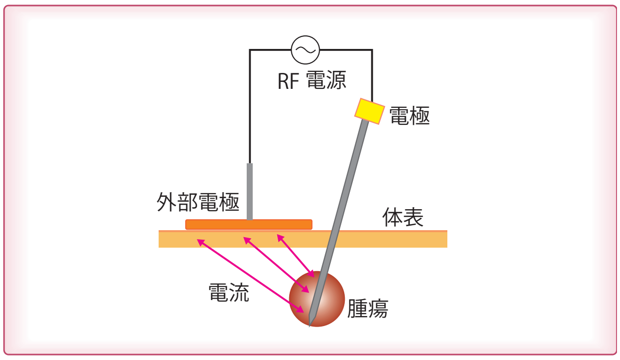


図 2　RFA の構成図

法に比べて患者の負担が少ない治療法の一つである．現在では，肝臓だけでなく肺や腎臓の腫瘍などに対しても行われるようになりつつある．

誘電加温は図 3（a）に示すように，腫瘍の存在する人体を二つの電極で挟み，そこに高周波電圧を印加することにより腫瘍を加温治療するというものである．実際には，数十 MHz 以下の周波数では人体内部における誘電損による発熱は小さく，図 3（b）に示すように，人体内部を流れる電流によるジュール熱が支配的といわれている．現在，我が国においてハイパサーミア用治療装置として開発され，最も多く使用されているのがこの原理に基づく装置である．これは図 3 (a) のようにボーラス（水袋）により人体表面を強制的に冷却し，1 kW を超える電力を与えて人体深部加温を可能にしている．

これに対し，マイクロ波としては，2.45 GHz が代表的であり，それ以外には 915 MHz や 430 MHz なども用いられることがある．基本的には加温用アンテナ（この分野ではアプリケータとも呼ばれる）から放射される電界が生体組織に吸収されることにより生ずる発熱を利用するもので，電子レンジと同じ原理である．なお，一般的には生体組織の損失が大きいため，アンテナ近傍電界が支配的である．他の解説でたびたびハイパサーミア用アンテナの自由空間における「指向性」を表示している

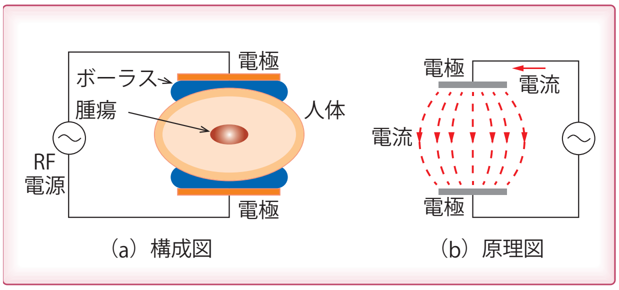


図 3　ラジオ波を用いた誘電加温

例を見かけるが，ほとんど無意味であることは理解して頂けよう．Thermal Therapy に使用されるマイクロ波帯のアンテナについては **3.** で詳しく述べるが，ラジオ波では対になった電極が必要であるのに比べ，マイクロ波では一つのアンテナで済むため，アプリケータの設計や治療時の取扱いが容易である．

2.3　性能評価

Thermal Therapy に用いられる加温用アンテナの性能評価においては，通信用アンテナのそれとは異なった検討を行う必要がある．加温用アンテナの最も重要な性能評価指標として式（1）に示す SAR（Specific Absorption Rate，比吸収率）分布が用いられ，これは，単位質量に単位時間当りに吸収されるエネルギーを意味する．

$$\mathrm{SAR} = \frac{\sigma}{\rho} E^2 \quad (\mathrm{W/kg}) \qquad (1)$$

σ：生体組織の導電率（S/m），ρ：生体組織の密度（kg/m^3），E：電界（実効値）(V/m)

SAR 分布は，加温パターンに相当し，また，式（1）より生体組織中での電界強度の 2 乗に比例することから，いわば電力パターンである．その数値そのものはアンテナへの入力電力を調整することにより容易に制御できるため，加温用アンテナでは SAR の分布形状が重要である．すなわち，加温したい患部周辺に，いかに電界を分布させるかが重要である．なお，アンテナの入力インピーダンスは，電磁波の発生装置と整合していることが望ましいものの，通常はインピーダンス整合よりも SAR 分布形状の方が重視されることが多い．

SAR 分布は，モーメント法，FDTD（Finite Difference Time Domain）法，有限要素法などの数値解析手法を用いることにより算出することが可能であり，また，生体等価ファントムを用いることにより，SAR を実測することも可能である．液体ファントムと微小電界プローブによる“電界検出法”［8］や固形ファントムと赤外線カメラを用いる“サーモグラフィ法”［9］などが有効である．

更に，数値計算手法を用いれば，算出された SAR 分布を生体組織内の発熱源と位置付け，文献[10] に示されている式 (2) の生体熱輸送方程式を数値解析することで，生体内における温度分布を推定することも可能である．ただし，この場合には，生体組織の電気的特性のみならず，その熱的特性や血流量なども考慮する必要がある[11]．

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \kappa \nabla^2 T - \rho \rho_b c_b F (T - T_b) + \rho \cdot \mathrm{SAR} \qquad (2)$$

T：温度（℃），t：時間（s），ρ：生体組織の密度（kg/m^3），c：生体組織の比熱（J/(kg·K)），κ：生体組織の熱伝導率（W/(m·K)），ρ_b：血液の密度（kg/m^3），c_b：血液の比熱（J/(kg·K)），F：血液流量率（m^3/(kg·s)），T_b：血液の温度（℃）.

3 マイクロ波加温用アンテナ

治療の対象となる腫瘍の形や大きさ，その場所あるいは周辺の状況は様々であるため，これまでに幾つかの異なる加温方式・システムが提案されている．更にそれらの加温方式・システムを実現するため，数多くのマイクロ波アンテナが考案され，実用にも供されている．ここでは，マイクロ波で用いられる加温方式・システム及び主な加温用アンテナを概説するとともに，一例として同軸スロットアンテナについて説明する．

3.1 加温方式・システム

加温方式としては，図4に示すように，アンテナを人体外部に置くか人体内部に挿入するかによって「外部加温」方式と「内部加温」方式に大別することができる．一般に，マイクロ波エネルギーが生体組織中で伝搬できるのは，ほんの数cm以下であり，周波数が高くなるに従ってその距離は短縮することが知られている．そのため，外部加温方式は原則として人体表面あるいは比較的浅いところに局在している腫瘍に用いられる．これに対し，内部加温方式は侵襲的ではあるが人体深部の腫瘍に適している．また，腫瘍の大きさが数cmを超える場合には，それをカバーするように複数本のアンテナを適当な間隔で刺入する方法がよく用いられる．

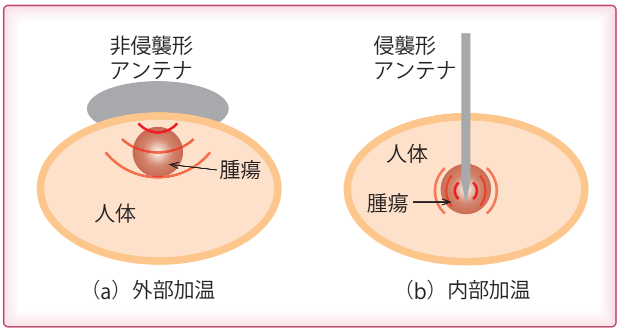


図4 マイクロ波加温の方式

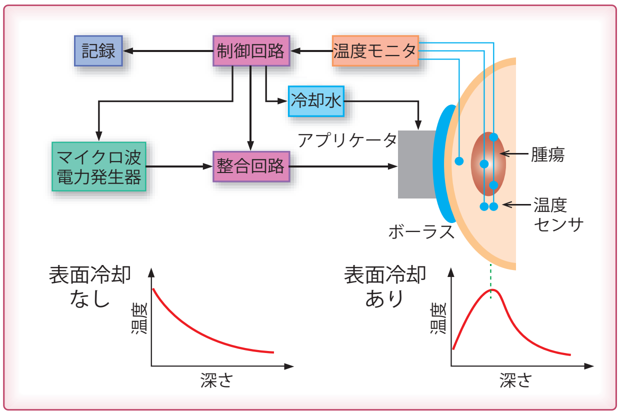


図5 マイクロ波外部加温システムの基本構成

図5は，マイクロ波を用いた外部加温システムの基本構成を示す．使用周波数は2.45 GHzが多いが，それ以外に915 MHz及び430 MHz等も用いられる．また，アプリケータとしては，導波管タイプのアンテナ，スパイラルアンテナあるいはパッチアンテナ（マイクロストリップアンテナ）等が開発されている．浅在性の腫瘍を治療対象とする場合，体表面が過剰温度になることを防ぐため，アプリケータと体表面との間にボーラスを挿入し，冷水を環流させることにより表面冷却を行っている．

腫瘍に直接挿入するタイプのアプリケータを用いたマイクロ波組織内加温システムの基本構成を図6に示す．腫瘍の大きさに合わせて，複数本の細いアンテナを15～20 mm程度の間隔で刺入して直接加温を行う．実際の治療では，生体組織中に温度センサを複数刺入して測温を行い，そのデータによりマイクロ波発振器の出力を変化させ，腫瘍温度のフィードバック制御を行っている．本システムでは細いアンテナを腫瘍まで刺入する必要があるが，少ない電力で効率良く加温することが可能であり，また，周囲への漏れ電磁波も非常に少なく，他の医療機器や従事者に与える電磁波の影響はほとんど無視できる．

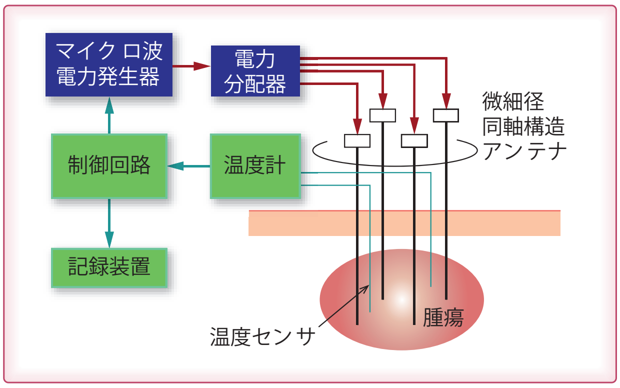


図6 マイクロ波組織内加温システムの基本構成

一方，マイクロ波凝固療法は，主に比較的小さながん（例えば肝細胞がん）の治療に用いられる手法であり［5］，通常は1本の細いアンテナを患部に刺入し，マイクロ波を照射することにより，腫瘍を高温に加熱して凝固させる治療法である．通常，アンテナへの入力電力は数十W，治療温度は組織の凝固が生じる60℃以上，治療時間は数分程度である．マイクロ波凝固療法においても，細いアンテナを体内に刺入し，目的部位のみを加熱するという点では組織内ハイパサーミアと共通であるが，細かい温度制御は行わないことが多い．

3.2　アンテナの種類

マイクロ波加温に用いられる代表的なアンテナの種類を図7に示す．空間放射形及び接触形は前述のように，外部加温方式の代表例であり，人体表面あるいは比較的浅いところに局在している腫瘍の治療に適している．これらは非侵襲形であり取扱いは比較的容易であるが，アンテナと人体表面の隙間からの電磁波漏えいには注意する必要がある．また，一般的に表面冷却のため，エネルギーの利用効率が悪く，大きな電力を必要とする．

腔内挿入形は食道がんや直腸がん等の治療に適しており，アプリケータとしてはダイポールアンテナやヘリカルアンテナ等がよく用いられる．アプリケータの長さ方向に不必要な発熱分布が生じないようにアンテナを設計することが重要である．また，内視鏡と組み合わせることによる治療（鉗子口に長いアンテナを挿入する）も可能である．組織内刺入形は，細いアンテナを腫瘍まで刺入し，直接加温する方法である．侵襲タイプではあるが，エネルギーの利用効率が良く，小電力で加温することが可能である．アプリケータとしては，モノポールアンテナや細いヘリカルアンテナ及び同軸スロットアンテナ等が用いられている．

以下に，外部加温方式のアンテナを2例紹介する．図8は100 MHz程度の電磁波を用いた外部加温用フェーズドアレーアンテナの一例である．人体外部に複数の小形アンテナ（図8では6台）を配置し，それらの励振位相及び振幅を調整することにより体内の腫瘍を選択的に加温する構成となっている．なお，各アンテナからの電磁波を効率良く人体内部に浸透させるため，アンテナと人体表面の間には適度な濃度の食塩水を充填したボーラスが配置されている．加温装置は大形となるが，使用周波数が比較的低いため，人体深部あるいは大容積の腫瘍の治療に適しているといわれている．

図9は，乳がん治療用の8素子スパイラルアレーアンテナである［12］．動作周波数は915 MHzであり，個々のスパイラルアンテナの振幅を調整することにより，加温パターンを腫瘍の形状に合わせて制御することができる．

3.3　同軸スロットアンテナ

前述したマイクロ波組織内ハイパサーミア及びマイクロ波凝固療法に用いられる細いアンテナの構造及び試作アンテナの写真を図10に示す．このアンテナは同軸スロットアンテナと呼ばれ，直径1 mm程度の細いセミリジッド同軸ケーブルの先端を短絡し，外導体の一部をリング状に取り除きスロットを数個設けた構造をしている［13］．このスロットの位置及び個数を変化させることにより，アンテナ軸方向の加温パターンをある程度制御することが可能である．なお，治療時には，医療上の安全を考慮しカテーテルに挿入して用いられる．

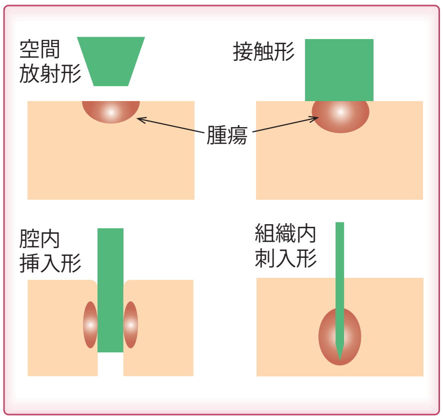


図7　マイクロ波加温に用いられる代表的なアンテナの種類

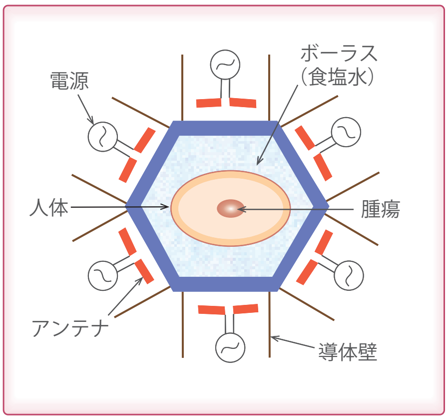


図8　外部加温用フェーズドアレーアンテナの一例

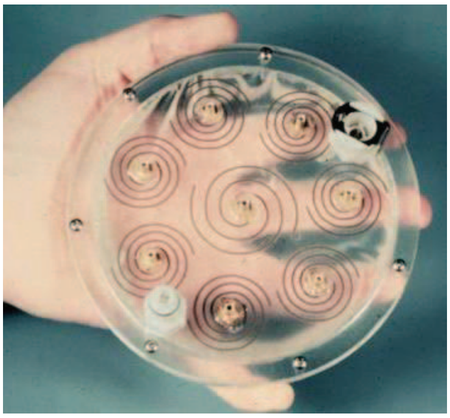


図9　外部加温用スパイラルアレーアンテナの一例［12］

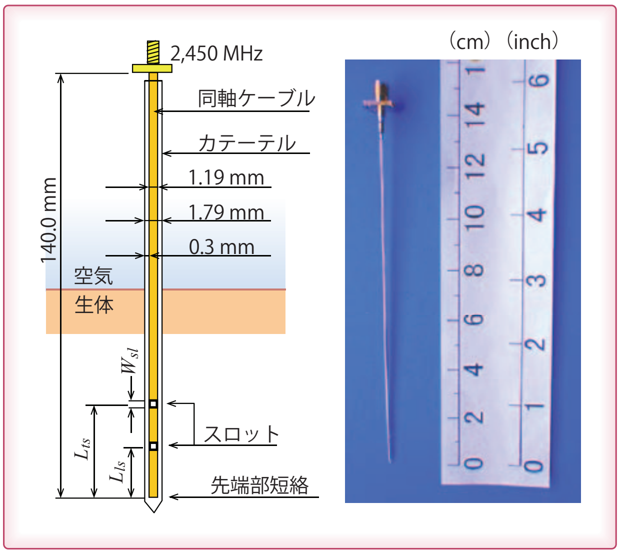


図 10　組織内加温用同軸スロットアンテナ
(L_{ts} = 20 mm，L_{ls} = 10 mm，W_{sl} = 1.0 mm)

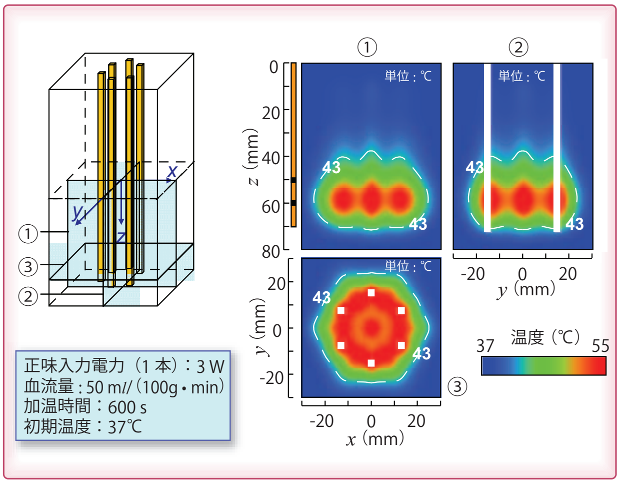


図 11　6 本の同軸スロットアンテナで構成したアレーアプリケータの温度分布（計算結果）

ハイパサーミアにおいて加温する体積を広げ，腫瘍の形状に合わせるため，複数本のアンテナを用いてアレーアプリケータとして使用する．一例として，6 本の同軸スロットアンテナにより構成したアプリケータの温度分布（計算結果）を図 11 に示す．ここで，アンテナ間隔は 15 mm である．腫瘍内の血流を考慮した場合，*xy* 面内で約 5 cm 程度の加温領域（43℃以上）が得られることが分かる．

4 実用化に向けた研究・開発

ここでは，Thermal Therapy の実用化に向けた研究・開発の現状と課題を述べる．最初に，基本的な技術である温度分布の推定と測定について概説する．次に，アンテナ技術の適用例として，人体深部にあるがんの治療例を紹介する．最後に，電磁波による加温方式と他の方式との併用について簡単に述べる．

4.1 温度分布の推定と測定

Thermal Therapy 用加温アンテナの性能評価には，**2.3** で述べたように，SAR 及び温度分布が一般的に用いられる．臨床使用時に重要なのは温度分布であり，**2.1** で述べたように，腫瘍辺縁部の「温め残し」がないように加温することが要求される．

SAR 及び温度分布共に，計算機シミュレーションに用いられる多くの手法が研究開発され，それらをベースにしたソフトウェアとして，様々なツールが市販されている．しかし，シミュレーションにより温度分布を推定する場合，式（2）で示したような血液の温度や血流量の温度依存性等をどのように与えるのか，更には，個々の患者の人体数値モデルをどこまで正確に作るのかなど，検討すべき課題は多い．現状では，患者の治療計画を立てる際に，腫瘍周辺の CT（Computerized Tomography）画像等を基にあらかじめ温度分布を概略推定し，使用するアンテナの個数や設置場所等を決めるのに役立っている．

温度測定については，従来，熱電対や光ファイバなどの細い温度センサを必要最小限，腫瘍及びその周辺部に直接刺入する方法が用いられている．特に，内部加温方式の場合は，アプリケータ自身に温度センサを取り付けることは比較的容易である．この方法では精確な温度測定が可能であるが，測定点は温度センサの存在する箇所に限られる．これに対し，非侵襲的に温度を測定（ここでは，上述の「推定」と区別して「測定」と呼ぶ）する方法が以前から数多く研究されている．この方法は，同時に，治療対象部位の温度分布を三次元的に測定することが理論上は可能であるという特長を有する．これまでに，電磁波を用いたマイクロ波 CT やラジオメトリ，インピーダンストモグラフィ，超音波 CT，MRI（Magnetic Resonance Imaging）などが検討され，多くの論文等が発表されている．中でも MRI は既に加温装置と組み合わされ，臨床利用されている．

Thermal Therapy において，測温技術は加温技術とともに必須の技術であり，アンテナ・伝搬に携わる研究者や技術者，学生にとって非常に興味のあるテーマである．

4.2 深部難治がん治療アンテナの一例

人体深部にあるがん，例えば，胆管がんや膵臓がんなどは，これまで適切な治療法がなく，見つかったら既に治療することが困難といわれてきた．このような「深部難治がん」の治療にアンテナ技術が何とか貢献できないかと思っていたところ，本学附属病院のある医師から，内視鏡に長い同軸スロットアンテナを挿入すれば，胆管がんの治療に使えるのではないかとの提案があった（このような点が医工連携のメリットである）．図 12 に，本治療法の形態を示す [14]．ここで，同軸スロットアンテナは，内視鏡に装備されている鉗子口を通してファーター乳頭部（Papilla of Vater）より腫瘍部に導入される．なお，本治療に用いる同軸スロットアンテナは，前述のものと基本構造はほぼ同じであるが，内視鏡に挿入するためフレキシブルな低損失の同軸ケーブルで製作するものとする．

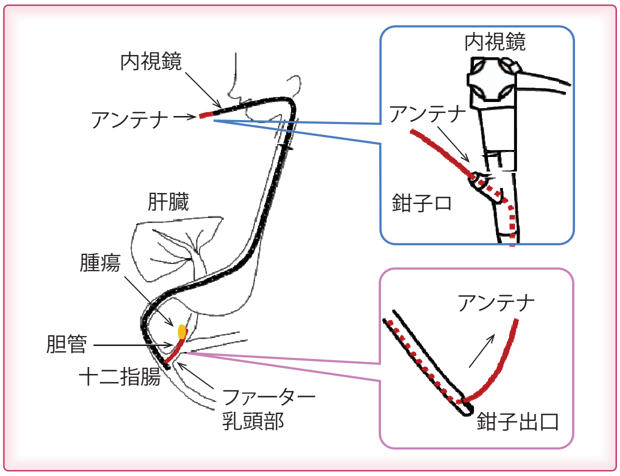


図 12 内視鏡と同軸スロットアンテナを用いた胆管がん治療

胆管の近傍には，門脈，下大静脈と呼ばれる太い血管が 2 本通っているため，これらによる冷却効果を考慮する必要がある．まず，血管を含めた数値解析モデルを作成し，温度分布のシミュレーションを行った．更に，血流による冷却効果を考慮した簡易実験ファントムモデルを作成し，温度分布の測定を行った．その結果，腫瘍部の温度を 42℃ 以上に加温することが可能であることを確認した[14]．現在，装置メーカの協力も得て研究開発を進めている．

4.3 他方式との併用

(1) 放射線療法との併用

2.1 でも述べたように，ハイパサーミアと放射線療法を併用した場合，相乗効果が確認されている．図 13 は

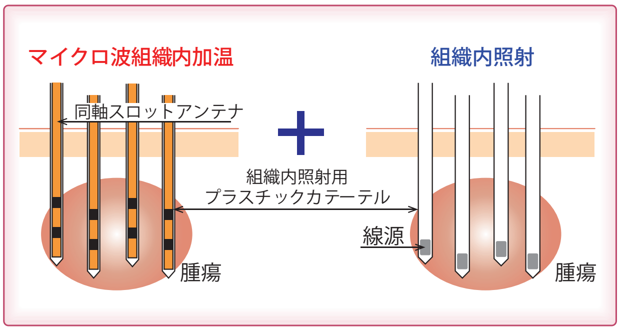


図 13 マイクロ波組織内加温・組織内照射併用療法

マイクロ波組織内加温・組織内照射併用療法の概念図を示す．放射線の組織内照射は一般的に使用されている手法であり，放射線源として微小なイリジウム 192 などをカテーテルの中に挿入し，短時間照射する．この併用療法では，組織内照射した後，放射線源を取り除き，次に同軸スロットアンテナを同じカテーテルに挿入し加温する．現在，この組織内加温・組織内照射併用療法についても精力的に研究が進められている [1]．

(2) 超音波加温との併用

Thermal Therapy として，電磁波以外に超音波も以前から用いられている．近年になり，アブレーションとして HIFU（High-Intensity Focused Ultrasound，強力集束超音波）[1] が見直され，臨床報告も多数見られる．HIFU は超音波の特長を生かした治療法で，図 14 に示されているように，おわん状に円形配列されたトランスデューサより照射された超音波がその焦点付近に小さな（通常は数 mm 以下）加熱領域を形成する．電子的あるいは機械的に焦点を立体走査することで腫瘍全体を正確に加熱することができるが，数 cm 程度の腫瘍の場合でも治療終了までに 1 ～ 2 時間以上要するといわれている．

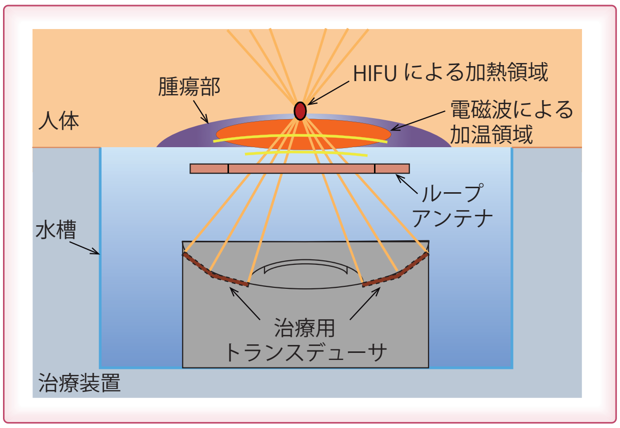


図 14 電磁波加温と超音波加温（HIFU）を併用した治療装置の概念図

一方，電磁波（マイクロ波）を用いた外部加温は，深さはせいぜい 5cm 程度であるが，超音波に比べてはるかに大きな領域を一度に加温できる．図 14 は，電磁波加温と超音波加温の長所を生かした実用的な治療装置の概念図である［15］．ハイブリッドにすることにより，「温め残し」がなく，より短い時間で確実な治療が期待できる．

5 む す び

Thermal Therapy の有用性については，既に広く認められているところであるが，実際の臨床使用という点では，まだまだ検討の余地が多い．実用的な治療装置を開発し，がんの患者を一人でも多く，また少しでも早く助けたいと願っている．

Thermal Therapy は，本論文で述べたようながん治療以外の応用も積極的に研究され，実用化の検討が進められている．例えば，リハビリテーション，疼痛緩和，スポーツのウォーミングアップなど，我々の身近で使われ始めている．

将来的には，診断及び治療を同一の装置で効率良く，確実に行うことが期待される．更には，診断・治療に加えて通信機能も備えた統合的な装置の開発が筆者の夢である．

本論文がアンテナ・伝搬に関わる研究者，技術者や学生にとって少しでも参考になれば幸いである．

謝 辞

本論文執筆だけでなく，25 年以上にわたりハイパサーミアを始めとする Thermal Therapy の研究に従事・協力して頂いた研究室のスタッフ及び学生諸君に心より感謝します．

文 献

［1］日本ハイパーサーミア学会編，“ハイパーサーミア：－がん温熱療法ガイドブック－，” 毎日健康サロン，2008.

［2］F. Sterzer, “Microwave medical devices,” IEEE Microwave Magazine, vol. 3, no. 1, pp. 65-70, March 2002.

［3］伊藤公一，“医療に貢献するアンテナ技術”，信学論（B），vol. J89-B, no. 9, pp. 1558-1568, Sept. 2006.

［4］S. Labonté, A. Blais, S. R. Legault, H. O. Ali, and L. Roy, “Monopole antennas for microwave catheter ablation,” IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, vol. 44, no. 10, pp. 1832-1840, Oct. 1996.

［5］田伏克惇，辻毅，森一成，上西幹洋，堀田司，石丸英三郎，阪倉荘平，尾崎敬，中村公紀，川井学，市川英明，藤原郁也，“マイクロターゼ凝固療法，” 胆肝膵，vol. 33, no. 2, pp. 261-270, Aug. 1996.

［6］国立循環器病研究センターホームページ，“不整脈とアブレーション治療，” http://www.ncvc.go.jp/cvdinfo/treatment/ablation.html#anchor-3

［7］H. Rosen, A. Rosen, and P. Walinsky, “Microwave balloon systems in medicine,” IEEE PULSE, pp. 8-15, Sept./Oct. 2010.

［8］T. Schmid, O. Egger, and N. Kuster, “Automated E-field scanning system for dosimetric assessments,” IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, vol. 44, no. 1, pp. 105-113, Jan. 1996.

［9］Y. Okano, K. Ito, I. Ida, and M. Takahashi, “The SAR evaluation method by a combination of thermographic experiments and biological tissue-equivalent phantoms,” IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, vol. 48, no. 11, pp. 2094-2103, Nov. 2000.

［10］H. H. Pennes, “Analysis of tissue and arterial blood temperatures in the resting human forearm,” J. Appl. Phys., vol. 1, pp. 93-122, Aug. 1948.

［11］J. Wang and O. Fujiwara, “FDTD computation of temperature rise in the human head for portable telephones,” IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, vol. 47, no. 8, pp. 1528-1534, Aug. 1999.

［12］G. C. van Rhoon, “Innovation in devices and technology for hyperthermia,” ICHO2008, Munich, Germany, April 2008.

［13］伊藤公一，古屋克己，“Microwave による組織内加温の基礎，” 日本ハイパーサーミア学会誌，vol. 12, no. 1, pp. 8-21, March 1996.

［14］K. Saito, A. Hiroe, S. Kikuchi, M. Takahashi, and K. Ito, “Estimation of heating performances of a coaxial-slot antenna with endoscope for treatment of bile duct carcinoma, “IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, vol.54, no.8, pp.3443-3449, 2006.

［15］S. Ishikawa, K. Saito, M. Takahashi, and K. Ito, “Heating performance of loop antenna for microwave thermal therapy by combination of HIFU treatment System,” Proc. 2010 Int. Symp. on Antennas and Propagation, Macao, China, Nov. 2010.

（平成 22 年 11 月 25 日受付，平成 23 年 1 月 19 日再受付）

伊藤公一（正員：フェロー）

1976 千葉大大学院工学研究科修士課程了．同年東工大・工助手．1979 千葉大・工助手，現在，同大学院教授．2009 より同大学フロンティアメディカル工学研究開発センター長併任．主として，がん治療用マイクロ波アンテナ等の医療応用，移動通信用小形アンテナ，人体通信，ファントムを用いた人体と電磁波との相互影響評価の研究に従事．工博．IEEE Fellow，日本ハイパーサーミア学会理事．

鉄道における通信システム

中村一城 Kazuki Nakamura 公益財団法人鉄道総合技術研究所
川﨑邦弘 Kunihiro Kawasaki 公益財団法人鉄道総合技術研究所

Part 1 まえがき

鉄道とは，レール等の指示案内路に沿って車両が移動する設備またはシステムを指す．鉄道は，大量輸送，高速・高頻度運転が可能で，定時性が高いというメリットがある一方，軌道や給電設備，鉄道車両などの固有設備が必要である．鉄道の通信システムは，鉄道を構成する様々なサブシステム間を有機的に結合するためのいわば神経網として欠かせないものである．本解説では，鉄道における通信システムの概要と特徴について述べた後，現在使用されている主な業務用システムと，今後導入が期待されているシステムを紹介する．

Part 2 鉄道における通信システム

我が国の鉄道における通信システムの歴史は，1872年（明治5年）新橋・横浜間に初めて鉄道が開業した際に，3本の裸線を用いたモールス電信を使用して閉塞運転[1]を行ったことに始まっている．鉄道の通信システムは，列車の運転保安に関わる情報伝送を担う「信号通信システム」として誕生した．

その後，明治後期～大正初期の頃に，列車に対する信号現示[2]やATS（Automatic Train Stop）[3]，ATC（Automatic Train Control）[4]など，列車の安全を確保するための保安システムを担う「信号システム」と，指令員や乗務員，駅員・関係箇所などへの情報伝送や基幹回線網を担う「通信システム」が独立し，今日まで至っている（なお，信号システム用の基幹回線も通信システムが担っている）．

鉄道の通信システムは，より安全・正確・快適な鉄道運行を実現するために，様々な情報を収集・伝達する重要な役割を果たしており，その使用目的により，列車の運行に欠かすことのできない情報を伝えるための通信システムと，お客さまサービス用の通信システムに大きく分けることができる．これらの情報をやり取りする箇所は，指令[5]，駅，事務所，走行する列車，線路沿線など多岐にわたっている（表1）．

列車の運行に関わる情報については，「保安通信設備」と呼ばれる専用の通信システムによって伝送されている．表1に示した列車運行に欠かすことのできない通信設備のうち，情報収集設備以外は全て保安通信設備である．保安通信設備は，国土交通省令「鉄道の技術上の基準を定める省令」によって設備することが義務付けられており，停車場，変電所，運転指令所，電力指令所その他の保安上または運転上必要な箇所相互間において迅速に連絡通報できることが要求されている．保安通信設備は，運転に関わる指示や情報が指令から伝達され，また列車や駅，沿線の情報が指令に集まるように構成されているのが特徴である（図1）．保安通信設備では，情報の不達や誤った情報の伝達があると，重大な事故に結びつく可能性があるため，通信システムには以下のような条件を満足することが求められる．

① 相手がどこにいても情報を伝えることができる（相手の位置を追跡して接続することができる）．
② 伝えたいときに確実に情報を伝えることができる（話中やふくそうによって通信が不可能になることがない．また接続時間，伝送遅延も少ない）．
③ 伝えたい情報を正確に伝えることができる（伝送品質が良い）．

表1　鉄道における主な通信設備

設備区分	主な通信設備	通信箇所
列車運行に欠かすことのできない通信設備	指令電話 沿線電話 列車無線 防護無線 非常発報無線 情報収集設備（雨量計，風向・風速計，地震計，水位計など）	指令⇔駅，車両基地，現場事務所 指令⇔沿線 指令⇔列車 列車（沿線作業員）⇒列車 列車⇒指令，変電所 沿線⇒指令
お客さまサービス用通信設備	放送装置 電気時計 監視テレビ 行先案内 運行情報表示 情報提供サービス用設備及び通信環境提供サービス用設備	駅内 駅内 駅内，駅⇒指令 指令⇒駅 指令⇒駅 駅内，列車内，インターネット⇒駅・列車

 © 電子情報通信学会 2011

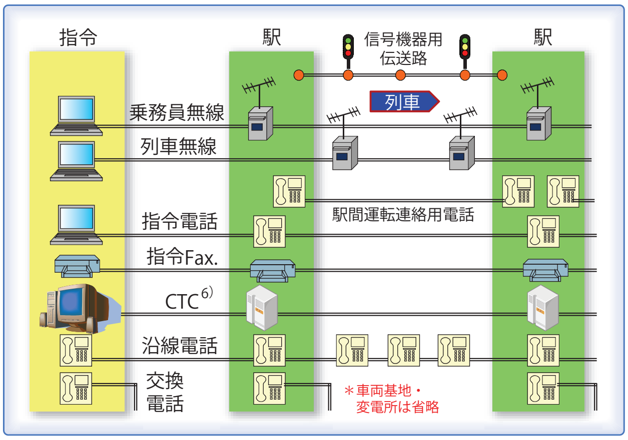


図 1　列車運転に関わる通信設備の構成例

また，鉄道の通信システムは，線路に沿って長距離にわたって設備されるため概して規模が大きく，メンテナンスやシステム更新が容易ではないという特徴もある．このため，一度導入された通信システムは，少なくとも 10 ～ 20 年，場合によっては 30 年以上の長期間にわたって使用されるものが多い．したがって，鉄道の通信システムには，高い耐環境性と信頼性（故障頻度の低さや修理時間の短さ）が要求される．特に信号システムに関する伝送では，「ゆっくりでも確実に」という思想で通信システムが構成される場合が多い．更に，通信システムを一部分ずつ更新していく場合，あるいは相互乗り入れなど異なる通信システムをまたがる場合などもあるため，新旧システムの共存，あるいは異種システムとの共存も考慮する必要があるのも鉄道の通信システムの特徴といえよう．

3. 以降では，列車運行に欠かすことのできない情報を伝えるための通信システムを中心に，主な鉄道通信システムとそのシステム構築のために用いられている通信技術について解説する．

Part 3　有線通信システム

3.1　鉄道における有線通信システム

指令・拠点駅や車両基地，現場事務所等の固定地点間に導入されている通信システムは，主に有線通信網によって構成されており，公衆回線とは独立した通信網が構築されている．多くの鉄道事業者が，自営で通信網を設備し，管理・運用することによって，平常時はもちろん，災害時でも迅速な情報伝達ができるようになっている．なお，一部の事業者，若しくは一部の区間では，自営通信網ではなく，通信事業者の専用回線を利用した専用通信網を構築している場合がある．また，常用回線は自営通信網で構築し，常用回線に異常が発生した場合の予備であるう回回線には，通信事業者の専用回線を利用している場合もある．

冒頭で述べたように，有線通信は日本で鉄道が開業すると同時に使用が始まっており，当初は裸線によるモールス電信による通信であった．その後，音声による通信の登場により，鉄道専用の電話交換網が全国に構築され，現在では鉄道沿線のほぼ全線にわたって，メタリックケーブル，同軸ケーブル，光ケーブルによる音声通信網とデータ通信網が構築されている．

ここでは，鉄道の運転に欠かすことのできない主な有線通信システムについて述べる．

（1）指令電話

指令電話は，指令と各駅や現場事務所，変電所等との間で直接通話するための設備である．

ふくそうや話中の影響を避け，列車運行に関わる指示・情報を確実に伝える必要があるため，一般電話とは別に鉄道事業者の自営通信網で構築している．

鉄道事業者によって異なる部分もあるが，指令には，列車の運行に関わる輸送指令，電力設備に関する指示を行う電力指令，信号通信設備を扱う信通指令，鉄道構造物を扱う施設指令などがあり，指令ごとに別々の電話回線が構成されている．

指令電話機としては，これまで磁石式や F 式といった旧式のものが使われていたが，近年では IP（Internet Protocol）電話機も導入されている．

（2）沿線電話機

鉄道沿線には，一定の間隔ごとに沿線電話機が設置されている（図 2）．沿線電話機には，主に前述した指令電話回線が収容されており，保守作業員が作業時や緊急時に指令と直接通話できるようになっている．また，緊急時に

図 2　沿線電話機

は列車の乗務員が地上に降りて指令との連絡用に使用することもある．更に，一部の路線では，携帯形の電話機を接続するための端子が設置されているところもある．

（3）沿線情報収集用通信設備

鉄道沿線には，風速計や雨量計などの気象観測装置が設けられており，気象観測装置で収集したデータを指令まで伝送するための通信網が構築されている．これらの気象関係のデータは，運転規制等の判断に必要であり，安全運行に直結する．沿線情報収集用通信設備は保安通信設備ではないが，これらの設備には高い信頼性が求められる．

3.2 鉄道において利用されている主な有線通信技術

3.1 で述べた鉄道における有線通信システムは，幾つかの有線通信技術を組み合わせて構成されている．ここでは，有線通信システムを構成している主な技術について述べる．

（1）通信線路

現在，使用されている通信線路は，主にメタリックケーブル，同軸ケーブル，光ケーブルがある．それぞれの特徴と鉄道での利用については下記のとおりである．

（a）***メタリックケーブル***　メタリックケーブルは，芯線径が 0.65 mm や 0.9 mm の平衡ケーブルが主に使われている．2 芯 1 組（1 対，若しくは 1 ペアともいう）の線を 2 対ずつよったカッドを更に 10 対ずつまとめたユニット構造のものが多く採用されている．幹線系では，芯線径 0.9 mm のものが多く使用されている．

（b）**同軸ケーブル**　同軸ケーブルは，メタリックケーブルのように，複数の芯線をまとめることができないため，同軸搬送装置による基幹回線の通信線路として利用されていた．しかし，近年では光ケーブルの普及に伴う光通信網の整備により，姿を消しつつある．

（c）**光ケーブル**　光ケーブルは，近年の材料の低価格化に伴い，鉄道沿線にも数多く導入されている．メタリックケーブルに比べて伝送した信号の距離による減衰が非常に少ないため，長い区間でも高速・大容量の情報伝送が可能である．そのため，鉄道における基幹回線の通信線路も，光ケーブルが主流となっている．更に，光ケーブルはトロリ線やき電線からの電磁的な誘導現象に伴う雑音の混入による影響を受けないことから，変電所における連絡や遠隔制御するための回線などにも導入が進められている．

ちなみに，列車上の通信線路に光ケーブルが導入され，制御情報伝送（運転操作，ドア扱い，案内放送など）に活用されている事例もある．1985 年に 64 kbit/s で導入されて以後，1990 年に 3 Mbit/s，2005 年には 100 Mbit/s の伝送回線を導入した車両も登場した．ただし，光ケーブルは曲げや振動衝撃に弱く，メンテナンスに高度な技術が必要であり，また列車の分割・併合時など環境の良くない場所でのコネクタの脱着を考慮する必要もあるため，メタリックケーブルに対して車両設計時の制約，コスト面で不利な面もある．

（2）搬送装置

鉄道事業者が自営網で構築している通信網のうち，情報量の多い指令と拠点駅間や拠点駅同士等を結ぶ基幹回線網は，搬送装置により構成していることが多い．

鉄道における搬送装置の導入は，一般電話網における多重化技術の導入と同様，メタリックケーブルに FDM（Frequency Division Multiplexing，周波数分割多重）や PCM（Pulse Code Modulation，パルス符号変調）搬送装置が，同軸ケーブルに同軸搬送装置が数多く導入されていた．これにより 1 本のケーブルで伝送できる回線数を飛躍的に増やすとともに，伝送距離も延ばすことができた．そのため，ローカル駅や沿線などからの情報は，拠点駅で数回線分をまとめて(多重化して) 指令へ伝送している(図 3)．

更に，光ケーブルの普及に伴い，光搬送装置の導入が進められている．拠点間の基幹回線網に光通信が導入されたのは 1983 年であり，当時の伝送速度は 6 Mbit/s であったが，現在は DWDM（Dense Wavelength Division Multiplexing，高密度波長多重）などの技術を利用した 10 Gbit/s オーダの回線網も導入されてきている．また，駅構内の信号システム用機器間の情報伝送に E-PON（Ethernet Passive Optical Network:100 Mbit/s）を活用するなどの事例も出てきており，鉄道における光通信網の活用は今後も進むものと考えられる．

なお，光ケーブルの導入が進んでいるとはいえ，鉄道

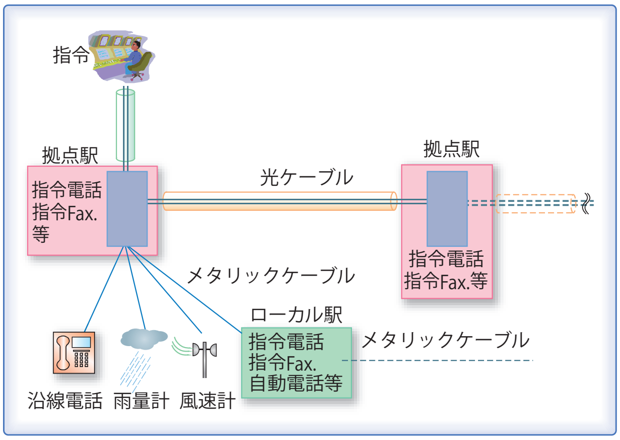


図 3　鉄道における有線通信システムの構成例

沿線にはいまだに数多くのメタリックケーブルが存在している．その有効活用方法や現在も数多く使用されている FDM や PCM 搬送装置の老朽化に対する対策が一つの課題となっている．

そこで注目されているのが，メタリックケーブルに xDSL（Digital Subscriber Line）伝送装置を導入した高速ディジタルデータ伝送である．鉄道総研では，xDSL 技術を鉄道沿線のメタリックケーブルに導入する際の回線品質を予測し，他のシステム（信号用システム等）との相互影響の有無などから，導入の可否を評価する手法の研究を行っている[2]．

Part 4 無線通信システム

鉄道における無線通信システムの歴史は，津軽海峡を挟んだ固定地点間に導入されたマイクロ波回線の構築に始まっている．移動する列車と地上との間における無線通信システムとしては，最初に誘導無線方式が，その後，空間波無線方式が導入された．

本章では，主に JR グループにて導入されている無線通信システムを中心に解説する．

4.1 固定無線通信システム

固定無線通信システムは，固定間通信に SHF（Super High Frequency）の通信回線が導入されたのを始まりに，主に列車制御運行回線や連絡回線，営業管理システム用回線として活用されてきた（表 2）．

しかし，近年は，光ケーブルによる通信網の普及に伴い，基幹回線網としての役割を終え，光回線網のバックアップ回線として一部で使用されている．

表 2　固定無線通信システム

方　式	用　途	周波数帯	ルート容量
アナログ	長距離用 短距離用	7.5 GHz 帯 12 GHz 帯	
ディジタル	長距離 大容量系	4 GHz 帯 5 GHz 帯 6 GHz 帯	3.8 ～ 8 Gbit/s
	短距離 中容量系	11 GHz 帯 15 GHz 帯	0.7 ～ 1.6 Gbit/s
	小容量系	4 GHz 帯 11 GHz 帯	230 ～ 520 Mbit/s

4.2 移動体通信システム

鉄道においては，指令や駅などと走行する列車の乗務員や沿線で作業する作業員との間で情報をやり取りする必要がある．そのための情報伝達手段として，無線を用いた様々な移動体通信システムが導入されている．

指令・車上間の通信システムは，誘導無線方式による導入が始まりであり，その後，神戸港駅の貨物操車場で導入された空間波無線方式が広く使われるようになった．そして現在では，ほぼ全ての列車に，地上と走行列車との間で通信を行うための列車無線システムが導入されており，列車の安全・安定運行には欠かせないシステムとなっている．鉄道の移動体通信では，線状に長い移動範囲を高速で走行する列車との通信を行うため，独特のシステム構成が導入されている．

（1）列車無線システム

指令員と乗務員の間での連絡を行うための通信システムが列車無線システムである．列車無線システムは，保安通信設備として列車の運行に欠かすことのできない設備であり，**2.** でも述べたように，高い信頼性と伝送品質が求められている．例えば，新幹線列車無線に対しては，サービスエリアが全線の 99.99％以上，伝送品質は全線の 99％以上で通話 SN 比≧ 40dB・ビット誤り率≦ 10^{-4}，進行中の列車との接続率は 99.9％以上，などが要求されている（一部の在来線列車無線でも同レベルの品質を実現している）．

列車無線システムは，その構成方法によって，空間波無線方式，LCX（Leaky CoaXial cable，漏えい同軸ケーブル）方式，誘導無線方式の三つに分けられる．それぞれの概要について以下に示す．

（a）**空間波無線方式**　沿線に設置された基地局とそのサービスエリア内にある列車との間で通信を行う方法である．JR の在来線や公営鉄道，民営鉄道（以下，公民鉄）で広く利用されている．周波数は，150 MHz 帯や 300 ～ 400 MHz 帯が使用されている．

在来線における空間波無線方式では，通話の形態として，

- 複信式（電話と同様に，相手の声を聞きながら話ができる）
- 半複信式（指令員は同時送受信ができ，乗務員はトランシーバのような交互の通話のみ可能）
- 単信式（トランシーバのような交互通話のみ）

の 3 通りがあり，首都圏などの高密度路線では複信式，その他の主要路線には半複信式，地方などの閑散路線では単信式がそれぞれ主に使用されている．

空間波列車無線システムでは，線路の沿線に基地局を設置して，そのサービスエリア内に存在する列車と指令との間で通話を行う．路線ごとに異なるチャネルを割り当て，各路線をそれぞれ 1 ～ 4 程度のゾーンに分割する．

通話は 1 ゾーンごとに 1 通話となっている（図 4）．鉄道では，線路に沿って細長くサービスエリアを設ける必要があるため，基地局用のアンテナには，図 5 に外観を示すような，指向性を持った八木・宇田アンテナが多く用いられている．一方，列車側の車上局については，図 6 のような無指向性のスリーブアンテナが主に使用されている．なお，指令から基地局までの回線は，**3.2** で述べた搬送装置などの有線設備により構成されている．

近年，従来使われてきたアナログ変調方式から，ディジタル変調方式への更新が行われつつあり，これにより，周波数の更なる有効利用，セキュリティの強化が図られている．

また，鉄道事業者をまたいで相互直通乗入れを行っている車両については，現在，鉄道事業者ごとに異なる車上無線機を搭載しており，設置スペースや操作効率上の課題がある．そのため，ディジタル化への更新を機に，列車無線システムの仕様をできる限り共通にすることで，車上無線機を共用できるようにしようという動きがある．

（b）**LCX 方式**　LCX ケーブルを沿線に布設し，ケーブルから漏れる電波を用いて通信を行う方法である．地上の LCX ケーブルと車上のアンテナが常時近接していることから高い受信レベルを確保でき，また干渉や雑音による影響に強いため，安定した通信品質を保つことができる．

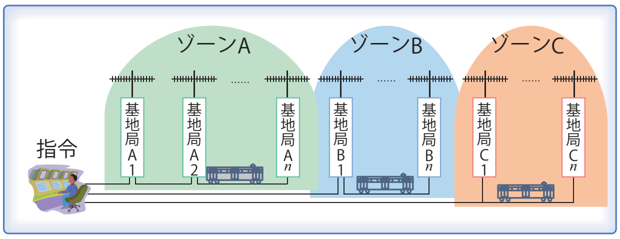


図 4　空間波無線方式によるシステムの構成例

図 5　基地局アンテナ

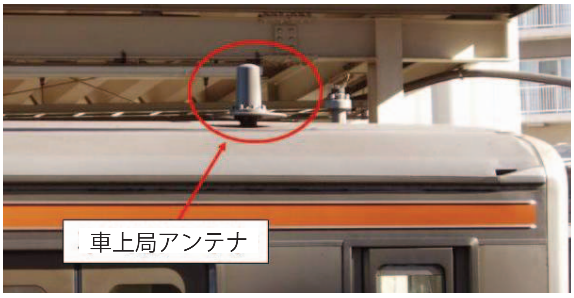


図 6　車上局アンテナ

在来線と新幹線では構成方法が大きく異なり，在来線では，トンネルや山間部，駅部などの（a）項で述べた空間波無線方式において不感地帯となる箇所やゾーン境界の補間用として主に導入されている．そのため，周波数は空間波無線方式と同じ周波数帯が使用される（つくばエクスプレスについては，後述する新幹線と同様，全線にわたって LCX 方式が導入されている）．

一方，新幹線では全線にわたって線路の両側に LCX ケーブルが敷設されており（図 7），車両の下部（スカート部）に取り付けられたアンテナとの間で 400 MHz 帯を使用して通信が行われている（図 8）．また，一度通信を開始したら列車の移動にかかわらず通信が継続できる機能（追跡・交換機能という）を持っている．これにより，300 km/h を超える速度で走行中であっても，全線の 99.99% 以上の区間で通信が可能であり，ビット誤り率が 10^{-4} 以下という高い品質を確保している．

LCX ケーブルは電波が漏れるようになっている同軸ケーブルであるため，1 本では長い距離を伝送することができない．そこで，電波の漏えい量が異なる複数の LCX ケーブルを縦に接続していくことにより，受信レベルを確保しつつ伝送距離を延ばす（中継器の間隔を延ばす），グレーディングと呼ばれる構成法がとられている．なお，両側に LCX ケーブルを敷設しているのは，ダイバーシチ受信（2 波以上の複数の電波を受信し，受信レベルの高

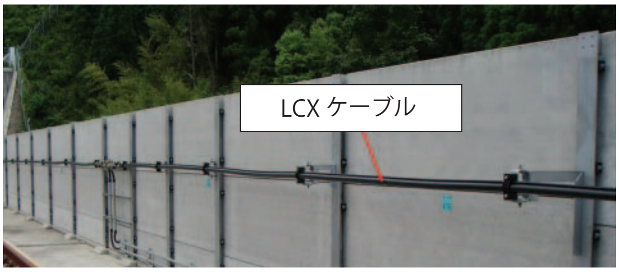


図 7　新幹線沿線に布設された LCX ケーブル

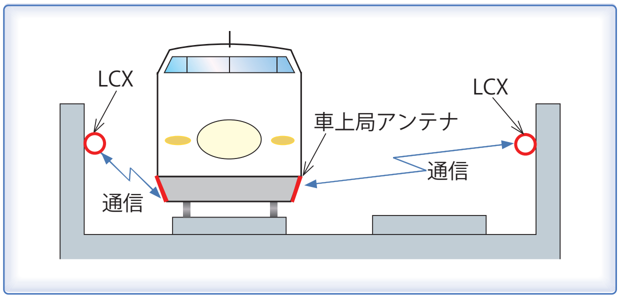


図 8　LCX と車上局アンテナの位置

い信号を選択することや，複数の信号を合成することで，受信品質を向上させる技術を用いた受信方法）を行うとともに，左右どちらかのLCXケーブルに異常があった場合でも，もう一方のLCXケーブルを使って常に通信が確保できるようにするためである［3］，［4］.

現在，新幹線の列車無線方式は，山陽新幹線と北陸新幹線（高崎～長野間）がアナログ方式，東海道新幹線，東北新幹線，上越新幹線，九州新幹線がディジタル方式により構成されている．そのため，アナログ・ディジタルの区間にまたがって走行する新幹線の車両には，SDR（Softwere Defined Radio，ソフトウェア無線）技術を活用したアナログ・ディジタル共用の無線機が搭載されている［5］.

また，新幹線においては，列車無線の機能の一部として，LCXケーブルを敷設した沿線のみで使用することができる携帯電話機があり，沿線作業時における作業員の連絡等に使用されている.

（c）**誘導無線方式**　沿線に敷設した誘導線や電車線に高周波電流を流し，近接した列車側のアンテナと静電誘導や電磁誘導現象により結合させて通信する方法である（図9）．周波数は100～200 kHz帯を使用しており，主に地下鉄や一部の公民鉄で利用されている．LCX方式同様，全線に線が敷設されているため，不感地帯が少ないという特徴がある．なお，誘導無線設備は，電波法において高周波利用設備という扱いとなっているため，設置に関しては総務大臣の免許ではなく許可を受けることとなっている.

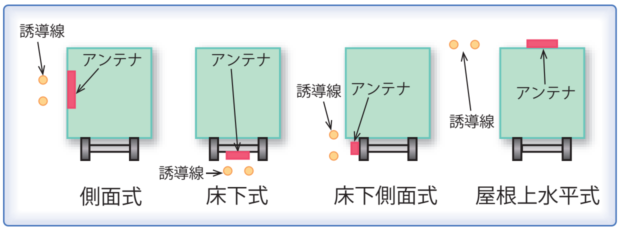


図9　誘導無線（直接結合方式）の一例

（2）乗務員無線

乗務員無線は，運転士と車掌間での連絡，運転士若しくは車掌と駅，信号扱所の間での連絡に使用されるアナログ単信方式の無線システムである．周波数は，400 MHz帯が使用されている.

（3）構内無線

構内無線は，車両基地や駅などで，代用閉塞，列車の入換作業を行う際に利用されている．信号扱所に基地局が設置され，作業打合せ等に使用している．在来線では主に400 MHz帯，新幹線では150 MHz帯が使用されている.

（4）防護無線

防護無線とは，在来線で異常が発生した場合に周囲の列車に対して警報を発する，車上から車上へ情報伝達を行うシステムである．防護無線を傍受した列車の乗務員は直ちに列車を停止させることになっており，隣接線を支障するような事故があった場合の対向列車の衝突など二重事故の発生を防止している．本システムでは，主に400 MHz帯が使用され，電波の到達距離はおおむね1 km程度となっている．現在は，ディジタル化やID（Identity）情報の伝送機能の搭載などのセキュリティ対策がなされている.

一方，新幹線においては，地上にいる作業員が異常を発見した場合に，地上から列車に対して異常を知らせるシステムが導入されており，150 MHz帯が使用されている.

（5）非常発報無線

非常発報無線とは，列車に異常が発生した際に，運転室内の発報ボタンを押すことで，当該区間の送電を停止して列車の防護を行うシステムである．一部の公民鉄や地下鉄で導入されており，列車無線システムの一部として組み込まれていることが多い.

4.3 その他の無線通信システム

（1）ミリ波利用システム

近年，ミリ波帯（30～300 GHz）を利用した無線システムも導入されている．鉄道のように，サービスエリアが線路に沿って細長くなっているなど，範囲を絞って使用するような環境は，直進性が強いミリ波の利用場面として期待されており，鉄道総研においても，これまで様々な研究を行ってきた実績がある［6］.

この周波数帯では，伝送に使用できる帯域を広く確保することができる一方で，降雨による減衰が大きいことなどから，現在，ワンマン運転時にホームにおける乗降客の様子などの監視画像を運転士へ伝送するシステムや車内広告情報を更新するためのシステムなど，近距離で大容量の情報をやり取りするシステムに利用されている.

（2）ICカード自動出改札システム

近年，ワイヤレスカードシステムを利用した出改札システムが広がりつつある．特に主流となっているのは，13.56 MHzを利用したもので，これまでの磁気カードとは異なり，多くの情報が記憶できるほか，各種情報サーバとの接続による情報交換も行われている．鉄道事業者ごとに，様々な名称でサービスが提供されているが，そ

れらの相互利用が広まっており，更にお客さまの利便性が向上することが期待される［7］.

（3）構内 PHS（Personal Handy-phone System）

多くの鉄道事業者では，駅構内や工場，事業所内に構内 PHS による自営の電話網を構築している．音声通信が主たる目的の場合が多いが，一部の事業者では，データ通信にも使用している．なお，公衆回線との接続の有無については，鉄道事業者やシステムによって多様である．

（4）衛星通信

災害時に地上の通信網に被害が出た場合の通信手段を確保するため，一部の鉄道事業者では，衛星通信を利用した通信網が導入されている．また，震災時などに変電所や列車を緊急停止させるための通信手段としても利用されている．

Part 5 旅客サービス用通信設備

3.，**4.** では，主に列車の運行業務に関わる通信設備について述べた．ここでは，お客さまへ情報サービスを提供するための通信設備について述べる．お客さまへサービスを提供するための通信設備としては，放送装置や運転情報提供など非常に多くの設備がある．これらは，様々な情報通信技術を活用したシステムとなっており，主に駅を中心に展開されている（図 10）.

近年は，駅構内のみならず，列車内でも様々な情報サービス，あるいは通信環境の提供サービスを行うための設備も導入されてきている．以降では，駅構内の通信設備と列車内でのインターネット接続サービス用設備について述べる．

5.1 駅構内における通信設備

（1）ワイヤレスマイク

駅のホームではワイヤレスマイクが多く利用されており，ホームごとにチャネルを変えて使い分けられるようになっている．また，構内 PHS と組み合わせて，PHS 端末から放送を行うことができるものもある．

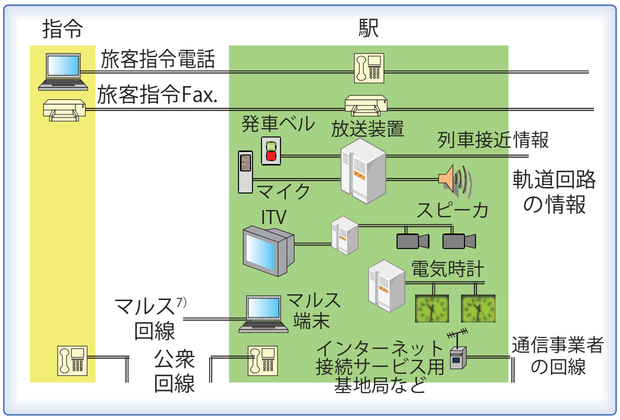


図 10　駅構内での旅客サービス用通信設備の例

（2）監視テレビ

主に駅員や車掌が，ホームでの乗降客の様子や列車の扉の状態を監視し，安全を確保するための設備である．

その他に，改札口や駅コンコース，階段など，お客さまの流れを駅の事務室で監視するためにも使用されている．更に，無人若しくは駅員の数が少ない駅の様子を，社内ネットワークを介して，他の駅や指令と接続して監視できるようにしている例もある．

（3）インターネット接続サービス

（1），（2）など，鉄道事業者がお客さまに対して情報を提供するための通信設備については従前より開発・導入されてきている．これに加え，通信事業者と協力して，お客さまがインターネットや電子メールを使用できるよう，通信環境を提供するサービスも充実してきている．

主要な駅の構内では，通信事業者により公衆無線 LAN（Local Area Network）サービスが展開されている．これらは，通信事業者（プロバイダ）と契約したユーザが，無線 LAN アクセスポイントが設置された駅構内で，無線 LAN サービスを利用できるというものである．鉄道事業者の協力の下，通信事業者がインフラを整備していることが多い．大都市圏の主要駅を中心にサービスエリアが広がっており，今後も拡大が期待されている．

5.2 列車内インターネット接続サービス

列車内におけるインターネット接続については，つくばエクスプレスや成田エクスプレス，東海道新幹線などで既にサービスが提供されている．海外においても，衛星通信によるサービスが実用化されているほか，WiMAX（Worldwide Interoperability for Microwave Access）を活用した実験も行われている．ここでは，国内でのサービスの概要とシステムの特徴を述べる．

（1）つくばエクスプレス

つくばエクスプレスに導入されているインターネット接続サービスは，移動する列車内においてインターネット接続を可能とした，国内で最初の事例である［8］.

このサービスは，高速ハンドオーバ技術やモバイル IP 技術を導入することで，全線にわたって移動する列車内から無線 LAN によるインターネット接続を可能としている．地上・車上間，車両間，車上・ユーザ間を全て無

線 LAN で構成しているのが特徴である．

（2）東海道新幹線

東海道新幹線の N700 系車両内において，無線 LAN によるインターネット接続サービスを提供している [9]．

このサービスの特徴は，地上・車上間の通信インフラとして，前述した LCX 方式の列車無線システムを使用しているところにある．伝送容量は LCX 無線システムで伝送可能な帯域幅に制限されてしまうものの，全線にわたって安定した接続を確保できるという特徴がある．車上では列車無線の車上局装置からネットワーク接続端末を通して，無線 LAN アクセスポイントに接続され，各個人の PC との接続を可能としている．なお，N700 系においては，各車両に 2 台ずつ無線 LAN のアクセスポイントが設置され，車内のサービスエリアを確保している．

インターネット接続サービスの実現にあたっては，RoF（Radio on Fiber）の技術や，高速移動する端末がどの基地局下にいるかを追跡，経路制御するためのモバイルネットワーク技術と高速ハンドオーバ技術が活用されている．

（3）成田エクスプレス

都心と成田空港を結ぶ成田エクスプレスでは，2009 年 10 月に新たに導入された新形車両 E259 系の車内に，無線 LAN によるインターネット接続サービスが提供されている [10]．

本サービスは，地上・車上間のインフラストラクチャに Mobile WiMAX を採用しており，利用できるサービスエリアは，通信事業者の提供するサービスエリアに依存している．

前述したつくばエクスプレスと東海道新幹線は，地上・車上間のインフラストラクチャを列車内でのインターネット接続サービス専用に構築しているが，この成田エクスプレスのサービスは，公衆網を利用しているという違いがある．

Part 6 鉄道における新しい通信システム

これまでは，既に鉄道において導入されている主な通信設備について述べてきた．通信技術の急速な進展に伴い，鉄道においても，新しい通信技術の導入が各方面で検討・研究されている．特に，無線通信技術の更なる活用によって，より安全・快適な鉄道システムの実現，あるいは従来とは異なる概念の鉄道システムの実現が期待されている．

ここでは，様々な取組みのうち，無線を用いた列車制御システムの概要と，鉄道総研で研究を進めている大容量光通信システムについて紹介する．

6.1 無線を用いた列車制御システム

日本の多くの鉄道では，軌道回路 [8] で列車を検知し，地上信号機若しくは車上で運転士に対して信号を表示する方法によって列車を制御している．

鉄道総研では，軌道回路を使用しない新たな列車制御システムの構築を目指し，CARAT（Computer And Radio Aided Train control system）と呼ばれる次世代列車制御システムの研究開発を 1985 年頃から約 10 年間行った [11]．このシステムは，①列車自身が自分の位置を把握してその情報を地上に送信する．②地上側は，全列車から送られてくる位置情報に基づく各列車の停止位置を算出し，その情報を各列車に送信する．③列車は，地上からの情報と自身のブレーキ性能などからブレーキ制御を行う，という仕組みにより列車の運行を制御する（図 11）．本システムにおける地上・車上間の情報伝送には，ディジタル無線が採用されている．1990 年代には，山陽新幹線や上越新幹線において LCX 方式のディジタル無線によりシステムを構築して検証実験を行い，システムの安全性と実現性を確認した．

この研究開発成果を発展させ，JR 東日本において在来線への導入を目指した開発が進められているものが ATACS（Advanced Train Administration and Communications System）である [12]．

このような無線を用いた列車制御システムにおいては，無線で発生する様々な障害要因からいかにシステムを守り，信頼性（＝安全性と稼働率）を確保するかが課題となる．CARAT，ATACS 共，安全性については，基本的にはフェイルセイフ装置によって構成される信号システムで確保している．制御システムには，“無線システムでは誤りや損失，遅延がある確率で発生する” ことを想定して何重もの対策

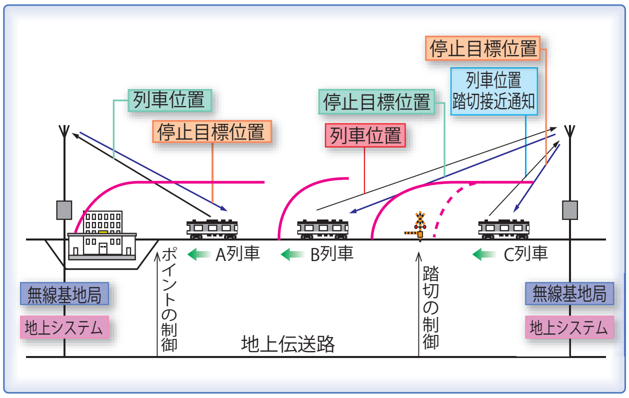


図 11　CARAT のシステム概念図

が組み込まれている．したがって，無線システムにおける伝送品質の劣化が安全性の低下に直結することはない（無線システムに異常が発生した場合は必ず列車が緊急停止する）．しかし，無線システムの伝送品質が劣化してしまうと，列車制御システムの稼働率が低下し，安定した運行が期待できなくなってしまう．そこで，CARAT や ATACS の無線システムでは，誤り訂正，暗号化などといった種々の対策を実施し，列車制御システム側が必要とする伝送品質を常に提供できるよう，先に紹介した新幹線列車無線よりも厳しい要求条件をクリアしている．

ちなみに，鉄道の安全性や保安伝送に関しては国際的な基準があり，日本国内においても，これらの基準に基づく評価と対策が実施されている．このような保安に関わる情報を伝送する無線システムの設計や評価には多大な労力が掛かり，また，信頼性や安定性を確認するために多くの実験を行うことが必要となる．そこで，鉄道総研では，無線式列車制御システムにおける無線通信システムの設計や伝送性能の評価の支援を目的として，鉄道特有の伝送環境（伝搬途中で混入する雑音や，電波の強さの変動など）を考慮して無線データ伝送の品質と列車制御への影響をシミュレーションによって評価する手法について研究を行っている [13]．

また，鉄道総研では，無線式列車制御システムの更なる発展形として，「知能列車」による安全性・信頼性のより一層の向上にも取り組んでいる．「知能列車」では，列車が，踏切や沿線の状況，周囲の列車に関する情報を収集し，列車自らが安全限界速度を決定して走行することにより，予測可能な事故を回避できる鉄道システムの実現を目指している．この「知能列車」を実現するためには，列車にどのような情報を集め，どのような知能（判断機能）を持たせるか，が課題となる．様々な情報を取り込み，伝送するための無線通信インフラストラクチャの開発にあたっては，新しい無線通信技術の活用が欠かせないと考えている [14]，[15]．

6.2 大容量光通信システム

5. では，お客さまへの通信環境の提供サービスについて紹介したが，現在実用化されているサービスの伝送容量は，1 列車当りおおむね数～数十 Mbit/s である．近年のスマートフォンの普及，あるいは動画像の配信サービスなどの普及により，今後，列車内における通信環境でも更に大容量の伝送が求められることは明らかである．

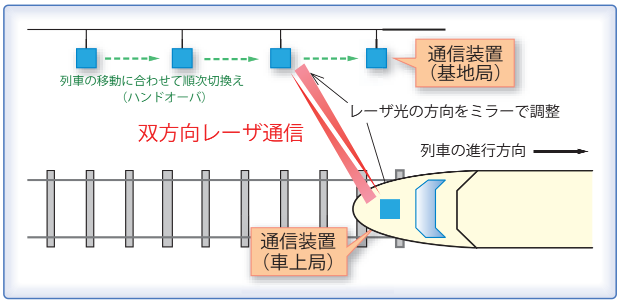


図 12　大容量光通信システムの構成

そこで，鉄道総研では，人工衛星の通信やビル間通信に利用されているレーザ光を用いた光通信技術を利用して，地上・車上間の大容量無線通信を行う研究を進めている（図 12）[16]．

本システムは，列車の最後尾に設置した通信装置（車上局）と地上の通信装置（地上局）との間で送受信するレーザ光により情報伝送を行うものである．通信装置には通信相手の捕捉・追尾用として赤外光であるビーコン光も搭載しており，受信したビーコン光の到来方向に対してレーザ光を発射することで通信を確立する仕組みになっている．また，列車の移動に合わせて，より確実に通信が行える地上局に順次切り換わっていく高速ハンドオーバ技術の開発も行っている．

これまでに，レーザ捕捉・追尾性能の高速化，振動対策，ハンドオーバに要する時間の短縮等，鉄道環境に適用させるための改良を施した光通信システムの開発を行った．この光通信システムを用いて，120 ～ 130 km/h で走行する列車と 3 台の地上局間でデータ伝送試験を行い，一時的に TCP（Transmission Control Protocol）で約 500 ～ 700 Mbit/s，UDP（User Datagram Protocol）で最大約 850 Mbit/s のスループットが得られることを確認した．一方で，本試験結果から，ハンドオーバ時間の更なる短縮や振動対策が必要であることが分かった．今後も開発を継続し，通信システムの改良や基地局ネットワークの構成方法などの検討を行っていく予定である．

Part 7　む　す　び

本解説において紹介した鉄道における通信システムは一部であり，その他にも鉄道事業者が導入している通信システムが数多くある．

近年，汎用通信技術の進歩により，通信システムを手軽に，また安価に構築・利用できるようになりつつある．特

に移動体通信技術について，より高速・大容量でなおかつ更なる高速移動に対応したシステムの研究開発が進められている．直接安全運行に寄与しない業務支援や，お客さま向けサービスのための情報伝送には，それらのシステムを応用することで，より高品質なサービスの提供が期待できる．一方，鉄道における業務上の情報，なかでも列車の運行に必要な情報は，安全に直結することから，できるだけ専用の通信システムを構築して常に安定した状態で確実に伝送することが望ましい．その際には，鉄道業界として共有できる新たな周波数の確保も検討する必要があろう．

鉄道総研においても，鉄道沿線における電波伝搬や雑音など鉄道特有の通信環境に関する研究を踏まえ，鉄道システムの中で情報を確実にかつスムーズに流すための必要条件を再度整理し，新たな鉄道通信システムの提案に向けて研究に取り組んでいく予定である．

最後に，本稿を読まれた読者が，“通信”という視点で鉄道システムを見ながら鉄道の旅を楽しんで頂けることを期待するとともに，今後の鉄道通信システムの研究開発に少しでも関心を寄せて頂ければ幸いである．

【用語解説】

1）**閉塞運転**：ある区間に 1 編成の列車しか進入させないこと．鉄道が開業した当時は駅間を 1 区間としていた．
2）**信号現示**：停止，注意，進行などの指示や速度の指示．
3）**ATC**：自動列車制御装置．
4）**ATS**：自動列車停止装置．
5）**指令**：列車の運行に関わる各種情報を収集して常に監視するとともに，安全・安定輸送のために，車両・従業員・設備等に対して適切な指示を与える機関．
6）**CTC**：Centralized Traffic Control（列車集中制御装置）．
7）**マルス**：MARS（Multi Access seat Reservation System）．座席指定券等の予約・発券システム．
8）**軌道回路**：レールを電気回路の一部として利用し，列車の有無を検知したり，制御のための情報を伝送する装置．

文　献

[1] 田中伸一郎，“鉄道における通信技術の変遷，”電学誌，vol. 126，no. 8，pp. 546-549，Aug. 2006.
[2] 竹内恵一，関清隆，“鉄道沿線のメタルケーブルでの高速データ回線構築評価手法，”鉄道総研報告，vol. 20，no. 10，pp. 41-46，Oct. 2006.
[3] 岸本利彦，佐々木伸，LCX 通信システム，電子情報通信学会，東京，1982.
[4] 渡邊壽史，新幹線の電子制御・通信システム，電子情報通信学会，東京，1982.
[5] 杉山寛之，前野博明，古田武志，丸山等，丸山久幸，足達芳昭，“東海道新幹線デジタル列車無線の開発と導入，”日立論評，vol. 92, no.02, pp. 36-39, Feb. 2010.
[6] 進藤正昭，川﨑邦弘，“ミリ波を利用した蓄積伝送装置の開発，”鉄道総研報告，vol. 15，no. 1，pp. 11-16，Jan. 2001.
[7] 椎橋章夫，“IC カード出改札システム“Suica”の開発と導入，”信頼性学会誌，vol. 25，no. 8，pp. 718-727，Aug. 2003.
[8] 書間良雄“つくばエクスプレス車内無線 LAN，”鉄道と電気技術，vol. 17, no. 4, pp.32-36，April 2006.
[9] 杉山寛之，“東海道新幹線車内インターネット接続サービスの導入，”鉄道と電気技術 , vol. 19, no. 11, pp.10-14, Nov. 2008.
[10] 東日本旅客鉄道株式会社，“新形成田エクスプレス「E259 系」車内サービスの向上，”東日本旅客鉄道株式会社プレスリリース，http://www.jreast.co.jp/press/2009/20090903.pdf, Sept. 2009.
[11] 長谷川豊，“列車運転制御の新しい方向と CARAT システム，”鉄道総研報告，vol. 7, no. 5, pp. 1-9，May 1993.
[12] 馬場裕一，立石幸也，森健司，青柳繁晴，武子淳，齋藤信哉，鈴木康明，渡邊貴志，“無線による列車制御システム（ATACS），”JR EAST Tech. Rev., no. 5, pp. 31-38, Autumn，2003.
[13] 関清隆，川﨑邦弘，加藤佳仁，立石幸也，高荷洸，宮木圭介，“回線設計を指向した対列車無線データ伝送回線のモデル化と実装，”J-RAIL2008，no.S044-S7, pp.201-204, Dec. 2008.
[14] 川﨑邦弘，“鉄道における無線通信の安定性・信頼性の評価に関する取組み，”信学技報，RRRC2010-13, Nov. 2010.
[15] 川﨑邦弘，“鉄道分野における情報通信技術の現状と展望，”NICT ネットワーク基盤技術シンポジウム「新世代ネットワークにおける極限環境ブロードバンド接続技術」, no.5, Feb. 2011.
[16] 中川伸吾，松原広，中村一城，辰井大祐，春山真一郎，寺岡文男，“レーザ光を用いた鉄道用高速大容量通信システム－在来線における性能試験－，”J-RAIL2010, no.1710, pp.425-428, Dec. 2009.

中村一城（正員）

平 10 武蔵工大・工・電子通信卒．平 12 同大学大学院修士課程了．同年，財団法人鉄道総合技術研究所入社．以来，鉄道通信システム，EMC の研究開発に従事．現在，信号通信技術研究部 通信研究室 副主任研究員．電気学会会員．

川﨑邦弘（正員）

平元 慶大・理工・電気卒．同年，財団法人鉄道総合技術研究所入社．主に鉄道沿線の電波環境の測定評価法，列車制御用通信システムの開発と，鉄道用 EMC 国際規格の審議に従事．現在，信号通信技術研究部 通信研究室長．IEEE, 電気学会会員．IEC/CISPR Expert Member, IEC/TC9 Liaison Officer.

IP 電話端末の技術基準整備

Author

篠澤康夫 Yasuo Shinozawa 総務省総合通信基盤局電気通信事業部電気通信技術システム課

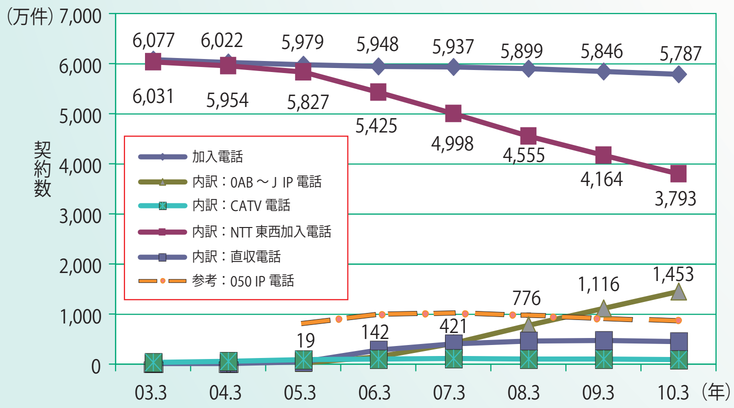
1 IP 電話の概要

1.1 IP 電話とは

グラハム・ベルが 1876 年に世界で初めて電話の実験に成功してから約 130 年間，電話技術は改良を重ねられ世界中の人々の生活を支えてきたが，ここ 10 年ほどで IP 電話技術へと世代交代を迎えようとしている．

この IP 電話とは，インターネットプロトコル（IP: Internet Protocol）電話の略称であり，電話網において音声を各種符号化方式で圧縮しパケットに変換した上で IP ネットワーク上で伝送する技術＝ VoIP（Voice over IP）を利用した電話サービスを指す．

ただ，IP 電話と一口にいっても，公衆 IP 電話サービス，インターネット電話サービス（Skype などのインターネットを用いた IP 電話サービス），IP-PBX（Intenet Protocol Private Branch eXchange）サービス，IP コールセンタシステムなどを指し，有料のものから無料のものまで様々なサービスが提供されている．本稿ではその中でも中核的な IP 電話サービスとして提供されている公衆 IP 電話サービス，特に従来のアナログ電話サービスと同様の電話番号（0AB ～ J 番号[1]）を用いた電話サービスについて述べる．以降，特に注記なく「IP 電話」と用いる場合は 0AB ～ J IP 電話を指す．



(注)加入電話とは，NTT 東西加入電話，直収電話，0AB ～ J IP 電話，CATV 電話をいう．

図 1　加入電話の契約数の推移（出典：総務省報道発表）

我が国では，平成 15 年から 050 番号[2]を用いた IP 電話サービスが，更に平成 17 年から 0AB ～ J IP 電話サービスが開始された．世界トップクラスのブロードバンドサービス普及率を背景に，公衆 IP 電話サービスの利用数は急速に拡大し（図 1），平成 22 年 9 月末時点で 2,428 万件に至っている．携帯電話の普及に伴い固定電話契約者数が伸び悩む中，IP 電話（050 及び 0AB ～ J）の利用増加数は昨年同月比 26% 増と，着実に増加傾向にあり，近い将来にはアナログ電話サービスの契約者数を超える見込みとなっている．

また，2010 年 12 月，総務大臣の諮問機関である情報通信審議会の電気通信事業政策部会は，ユニバーサルサービス制度[3]の対象を「加入電話」から「加入電話または加入電話に相当する光 IP 電話」に変更することが適当だとする答申を発表するなど，IP 電話が今後の国民の生活を支える重要なインフラストラクチャとなることが期待されている．

このように IP 電話の普及が進んでいるのは，

- 通話料金が低廉
- 多種多様なサービス（データコネクト，ソフトフォン[4]，テレビ通話など）を利用可能
- 高い通話品質

といったメリットに加えて，従来どおりの電話番号，電話機を流用できることや，緊急通報にも発信できる（0AB ～ J の番号を用いるもののみ），技術が安定し信頼性が向上してきたことなど，利用者にとって安心して使用することができる土壌が整ってきていることが背景として考えられる．

1.2　IP 電話端末に係る新たな技術基準策定の必要性

IP 電話は誕生してから間もない新しい技術であるにもかかわらず，アナログ電話や携帯電話に並ぶ主要な電話サービスへと急速に普及・発展している．

一方で，表 1 に示すように，利用者数が急拡大することで様々な不具合が発生・顕在化してきた．特に 2005 年から 2006 年にかけて発生した大規模障害（NTT 東西）の長期化は国民生活に少なからぬ影響を及ぼし，IP 電話自体の信頼性に波紋を投げかける契機となった．

このような背景やネットワーク保護等の観点から，電話として最低限必要な機能を満たし，IP 電話特有の課題にも対応するような技術基準を策定することが必要となった．特に，IP 化されたネットワークは，網構成が従来の固定電話ネットワークと異なることから，サービスの機能や通信品質，ネットワークの安全・信頼性，相互接続性・運用性等を適切に確保するため，新たに IP 電話を初めとするネットワークの IP 化に対応した電気通信設備に係る技術基準の見直しを始めとする環境整備が強く求められた．

表 1　IP 電話のトラブル事例［1］

年月日	事業者	トラブル概要
2005/12/3	ケイ・オプティコム	約 14 万 6,000 ユーザ, 約 8 時間
2005/12/10	九州通信ネットワーク	約 3 万 2,000 ユーザ, 約 2 時間
2006/3/31	NTT 西日本	約 39 万ユーザ, 約 11 時間
2006/5/7	ケイ・オプティコム	約 22 万ユーザ, 約 5 時間
2006/4/13	NTT 西日本	約 400 社, 約 2 時間
2006/4/21	NTT 西日本	約 10 万ユーザ, 約 4 時間
2006/9/19-21	NTT 東日本	約 80 万 3,000 ユーザ, 約 3 日間
2006/10/23-25	NTT 西日本	約 83 万 6,000 ユーザ, 約 3 日間

2　IP 電話端末に係る技術基準の概要

このような中，情報通信審議会より平成 21 年 7 月に『「ネットワークの IP 化に対応した電気通信設備に係る技術的条件」のうち「IP 電話端末等に関する技術的条件及び電気通信事故等に関する事項」（一部答申）』が答申され，IP 電話端末設備に関する図 2 に示す技術的条件を技術基準へ反映することが適当であるとされた．

2.1　技術基準とは

ここで，電気通信事業法でいう端末設備の接続の「技術基準」とは，法第 52 条において，

- 電気通信回線設備を損傷し，またはその機能に障害を与えないようにすること
- 電気通信回線設備を利用する他の利用者に迷惑を及ぼさないようにすること
- 電気通信事業者の設置する電気通信回線設備と利用者の接続する端末設備との責任の分解が明確であるようにすること

の 3 点を確保するため，総務省令または電気通信事業者等が総務大臣の認可を受けて定める技術的条件において定められるものとされている．

これは例えば，大電力を流すような端末機器が事業者の回線設備に接続されるなどによるネットワークの損傷を防ぐことや，端末設備に故障が生じた場合にどこに原因があるかを容易につきとめられるようにするといったことが目的となっている．

登録認定機関 5) 等が，この技術基準を満たしていると認定した端末設備には，図 3 に示す技術基準適合マーク（いわゆる技適マーク）が表示される．なお，類似の制度

(1) **基本的機能**　他の電話端末等と同様の観点から，基本的機能として，発信，応答，通信の終了の規定を定める．

(2) **発信の機能**　自動発信機能がある場合に，長時間の回線捕捉や多数回の再発信を抑制するため，アナログ電話端末や ISDN 端末と同様の条件を定める．

(3) **識別情報登録**　停電，ネットワーク障害など大規模な通信障害から復旧する場合，各端末から一斉に登録を行うことで，ネットワーク設備がそれら登録要求を処理しきれず，ネットワークがふくそう状態となり電話サービスが利用できないケースが想定されるため，このようなネットワークのふくそうを抑止するような条件を定める．

(4) **ふくそう通知機能**　ネットワークにふくそうが発生し，電話を掛けることができない場合，利用者（発信者）は再発信を試み，ふくそうをより助長させる可能性があることから，ネットワークからふくそうである旨の信号を受けた場合に，発信者にその旨を明確に通知する条件を定める．

(5) **電気的条件**　事業用電気通信回線設備の損傷を防止するため，ISDN 端末等と同様に，最大送出電圧等の条件を定める．

(6) **送出電力**　機械音声等において通信信号等の送出電力を高くすることは可能であるため，これにより他の利用者に迷惑を掛けることを防止するため，ISDN 端末等と同様に送出電力を一定値以下とすることが適当．

(7) **特殊な IP 電話端末**　アナログ電話端末，ISDN 端末等と同様に，例外規定を定める．

(8) **緊急通報機能**　緊急通報について，ネットワーク設備に対応して，端末設備側でも所要の機能を具備する必要があることから，通話に用いる端末については，緊急通報へ発信する機能を具備するように定める．

＊緊急通報機能については，IP 電話端末以外の電話端末についても規定．

図 2　IP 電話端末における技術的条件［2］

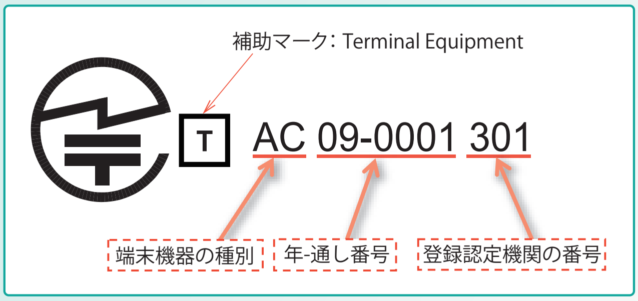


図3　技適マークの表示例

として，特定無線設備の技術基準適合証明制度があるが，この場合は無線設備として補助マーク（図中四角で囲まれている文字）が[T]ではなく[R]となる．また，電気通信事業用回線に接続される特定無線設備（例えば，携帯電話や無線LANなど）の場合には，[T]と[R]が併記される．

多くの場合，これらの表示は端末機器の電池パックを外したところや端末の裏側に表示されているが，平成22年4月からは技適マークの電磁的表示も可能となり，端末のディスプレイなどに表示させることができるようになった．

また，従来，端末機器の種別としては，以下の4種類で区分されていた．

A：電話用設備に接続される端末設備

B：無線呼出用設備に接続される端末設備

C：総合ディジタル通信用設備に接続される端末設備

D：専用通信回線設備またはディジタルデータ伝送用設備に接続される端末設備

AはアナログT電話機，携帯電話機といったもの，CはISDN（Integrated Services Digital Network）電話機，Dはルータ，データ通信カードなどが対象となっている．近年の携帯電話は電話としての機能だけではなく3G回線を用いたパケット通信を行うので，AだけでなくDとしての認定も取得するため，端末機器の種別としては「AD」と表記される．

2.2　IP電話端末の技術基準の概要

アナログ電話相当の機能を有するインターネットプロトコル電話用端末設備として具備しなければいけない事項については，平成23年4月1日より改正総務省令（端末設備等規則）において，図2に示したIP電話に関する技術的条件8項目が適用されることとなる．

特にIP電話端末では，通信プロトコルとしてSIP（Session Initiation Protocol）[6]やMGCP（Media Gateway Control Protocol）[7]が主に用いられていることから，各機能に相当するメッセージやその発信等に関する詳細を規定することとなる．

ここで，我が国のIP電話端末における特徴的な技術的条件を幾つか概説する．

(1) 識別情報登録

IP電話の多くが利用しているSIPでは，端末がネットワークに接続されると，ネットワーク上のSIPサーバに自らを登録するよう要求する仕様となっている．

過去の多くのIP電話が一斉に再登録要求を行ったため，呼制御サーバが負荷に耐えきれず不具合が長期化した大規模トラブルの事例を踏まえ，技術基準としては，このような障害が発生しにくくなるよう，サーバの負荷を下げるように端末ごとに識別情報登録要求のタイミングをずらすなどの措置がなされている．

(2) ふくそう通知機能

従来の電話機では，ネットワークがふくそう[8]している場合にはアナウンスや音によりユーザへ情報提供を行い，しばらく時間をおいてから再発信するよう促していた．IP電話においても，ネットワークにふくそうが発生していることをユーザに対して光や音で通知する機能を持つことなどの措置がなされている．

(3) 緊急通報機能

IP電話でもアナログ電話，ISDN電話や携帯電話と同様に警察，消防・救急，海保などの緊急機関へ通話を行う緊急通報機能を確実に使用することができるよう，改めて措置がなされた．

2.3　新たな枠組み「E認定」

平成23年4月1日より施行された端末設備等規則等の改正により，IP電話端末については，新たに「端末設備であってアナログ電話相当の機能を有するインターネットプロトコル電話用設備に接続されるもの」と定義され，端末機器の種類を示す記号について従来のA～Dといった区分を準用するのではなく，新たに「E」として定義されることとなった．

これまでFTTH（Fiber To The Home）に接続して利用される0AB～J IP電話端末（図4参照）は，制度上では「D」，すなわち電気通信回線設備の一端に接続されるディジタルルータと同様に扱われ，回線上を流れる音声データは単なる「パケットデータ＝雑音」の扱いであった．しかしながら，「E」として定義されることで，回線上を流れる音声データは「音声」として位置付けられ，QoS（Quality of Service）の観点からは最高の優先順位で

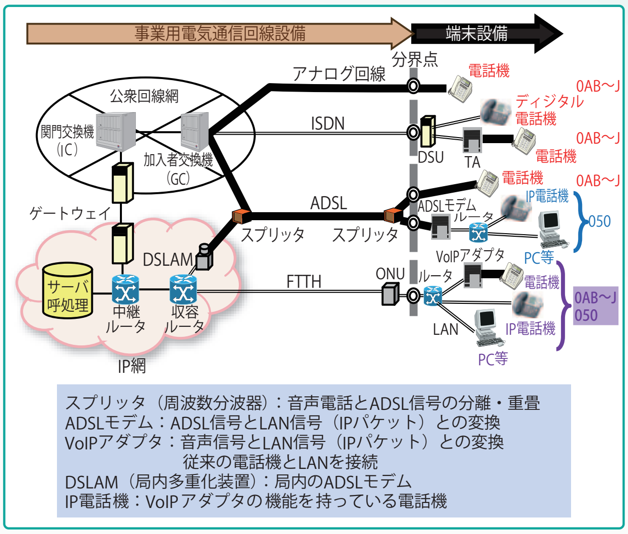


図 4　固定電話に関する設備構成例

データが流通することで音声品質の確保を図っている．

2.4　通信の品質

IP 電話と各種電話における通信の品質の比較を表 2 に示す．アナログ電話と IP 電話との規格は体系が異なるため一概に比較はできないが，同等またはそれ以上の品質が確保されるよう定められている．なお，IP 電話の品質基準は日本独特のもので，IP 電話の業界基準である RFC 3261 等にはこれに該当する規定はない．

3　IP 電話サービスにおける課題

現在技術基準として定められていないが，今後検討すべき課題として，停電対策，広帯域 IP 電話の品質，IP テレビ電話の品質，端末側での品質測定・表示などが挙げられる．中でも停電対策は重要な課題であると認識されている．従来のアナログ電話は停電時も基本的な機能が使用できるよう局給電がなされていることに対して，アクセス回線がメタルではなくファイバとなる IP 電話においては現在の技術では，特段の対策がない限り停電時に電話を使用することができない．日本では，携帯電話が広く普及し，停電の頻度の低さ・その継続時間の短さからこれまでは大きな問題としては取り扱われていないが，いずれ議論される必要がある．また，IP 電話は通話だけでなく，テレビ電話をはじめとする各種アプリケーションが適用されるなど広範な使用形態が想定され，それぞれの使用形態に適した品質の確保が求められる．他にも，IP 電話サービスでは，回線事業者，ISP 事業者，端末販売会社など様々な事業者が関与することから，サービスの不具合や事故が発生した場合，責任分担を明確に切り分ける必要があるなど，解決すべき課題はまだまだ山積している．

表 2　通信の品質比較

設備種別	通話品質	接続品質	総合品質	ネットワーク品質	安定品質
アナログ電話	（第 34 条） 端末・端末設備間の，送話ラウドネス定格は 15 dB 以下で，受話ラウドネス定格は 6 dB 以下	（第 35 条） 基礎トラヒックについて，次の各号に適合しなければならない． 1. 受話器を上げてから応答可能となるまで 3 秒以上となる確率が 0.1 以下 2. 呼損率が 0.15 以下 3. 国際電話発信は呼損率が 0.1 以下 4. 国際電話着信は呼損率が 0.11 以下 5. 呼出音の通知まで 30 秒以下			
ISDN	（第 35 条の 4） 端末・交換設備間の送話ラウドネス定格は 11 dB 以下で，受話ラウドネス定格は 5 dB 以下	（第 35 条の 5） 同上（第 35 条を準用）			
0AB ～ J IP 電話		（第 35 条の 10） 同上（第 35 条を準用）	（第 35 条の 11） 端末・端末間における通話の総合品質に関して（*R* 値 80 超，平均遅延 150 ms 未満）の基準をあらかじめ定め，その基準を維持	（第 35 条の 12） UNI-UNI 間（平均遅延 70 ms，揺らぎ 20 ms，パケット損失 0.1% 以下），UNI-NNI 間（平均遅延 50 ms 以下，揺らぎ 10 ms，パケット損失 0.05% 以下）の基準をあらかじめ定め，その基準を維持	（第 35 条の 13） アナログ電話用設備と同等の安定性が確保されるよう必要な措置を講じる
050 IP 電話			（第 36 条の 5） 端末・端末間における通話の総合品質に関して（*R* 値 50 超，平均遅延 400 ms 未満）の基準をあらかじめ定め（届出が必要）その基準を維持		
携帯電話等	（第 36 条の 3） 端末・端末間における通話の通話品質に関して，あらかじめ基準を定め（届出が必要），その基準を維持	（第 36 条の 4） 同上（第 35 条を準用）			

4 国際標準化の動向［3］

ITU-T（International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector,　国際電気通信連合電気通信標準化部門）においては，SG11（NGN：Next Generation Network,　相互接続性の確保の検討），SG12（QoE：Quality of Experience,　要求条件と性能監視），SG13（NGN）で主に NGN を中心とした研究がなされ，IP 電話・IPTV に関する標準化，IP 電話等のアプリケーションを支える NGN について議論がなされている．特に NGN のアーキテクチャについては，ITU-T 勧告 Y.2006 を始めとし，サービスごとに要求条件，機能要件を整理する形式で勧告化され，NGN が満たすべき要求条件やアーキテクチャを Y.2000 番台で，主要な信号方式を Y.3000 番台で規定している．NGN のサービスのうち，IP 電話に関連するサブシステムは，IMS（IP Multimedia Subsystem）として Y.2021 に規定され，そのプロトコル群は 3GPP 標準や IETF（Internet Engineering Task Force,　インターネット技術標準化委員会）の RFC（Request for Comments）を直接参照する形式が採用されている．

また IETF においては，sip-WG（セッション開始プロトコル作業部会）で，RFC 3261（SIP：Session Initiation Protocol）を中心に，SIP の拡張手順について検討がなされ，IP 電話で広く使われている SIP 関連の標準化作業が進んでいる．また，IP 電話，マルチメディア通信，マルチメディア会議のための SIP の拡張方法に関する検討が sipping-WG や mmusic-WG で行われている．

これら国際標準の策定にあたっては，総務省だけでなく，研究所や企業の方々が我が国の技術が採用されるよう多大なる努力で貢献している．実際に日本で技術基準化された IP 電話の技術もこれらの国際標準に準拠して規定されている．

5 IP 電話の今後

IP 電話に要求される機能・性能が我が国の技術基準として定められたことから，サービスが今後ますます発展していくことが期待される．

現在は音声サービスが中心であるが，携帯電話がたどった道と同様に，テキストサービス，映像との組合せ，様々なアプリケーションとの連動が図られるだけでなく，IP-PBX，クラウド技術，モバイル・スマートフォン技術の発展と重なり，安心・安全かつどこでも使える便利なサービスが提供されることが期待される．

このたびの東日本大震災により被災された皆様に心よりお見舞いを申し上げます．

【用語解説】

1）**0AB ～ J 番号**：加入電話サービスなどで用いられる電話番号．東京 23 区の 03 や大阪市などの 06 などのように番号と地理情報とが連動している．番号は「0ABCDEFGHJ」の 10 桁．

2）**050 番号**：50 で始まる IP 電話で使用する専用の電話番号．アナログ電話，ISDN，0AB ～ J IP 電話等と異なり，音質の規程が緩い．また，緊急通報に掛けることができない．電気通信事業法上はデータ通信として捉えられている．

3）**ユニバーサルサービス制度**：NTT 東西が法令に基づき日本全国であまねく電話サービスを提供するため，必要なコストの一部（高コスト地域における提供コスト）を，NTT 東西以外の事業者も負担する制度．

4）**ソフトフォン**：専用の機器を使わずに一般的なコンピュータやスマートフォンなどの汎用的な通信機器でインターネット経由の電話を可能とするソフトウェア．

5）**登録認定機関**：総務大臣の登録を受け，端末機器について技術基準適合認定や設計認証といった基準認証制度を担う機関．

6）**SIP**：IP ネットワーク上で電話の呼設定などをするために使うテキストベースのアプリケーション層のプロトコル．IP 電話の呼制御プロトコルとしては最も一般的．

7）**MGCP**：通信事業者が IP ネットワーク上で電話サービスを提供する際に使うプロトコルの一つ．ケーブルテレビ網で IP 電話を実現する際に用いられることがある．

8）**ふくそう**：ネットワーク上で多量のトラヒックが発生し，通常の送受信が困難な状態になること．

文　献

［1］　日経コミュニケーション，no. 47，Dec. 15, 2006.
［2］　平成 21 年度情報通信審議会答申，諮問第 2020 号「ネットワークの IP 化に対応した電気通信設備に係る技術的条件」のうち「IP 電話端末等に関する技術的条件及び電気通信事故等に関する事項」（一部答申）
［3］　そこが知りたい最新技術　SIP 入門，インプレス R&D，2007.

篠澤康夫

平 13-04 総務省入省以来，電気通信行政に従事．在ハンガリー日本大使館二等書記官を経て，平 22 から現職．現在，国民が安心・安全に便利な情報通信サービスを享受することができるよう，通信端末機器の技術基準策定等に取り組む．

街plus 探訪

Россия, Я тебя люблю…

～ICT 分野から垣間見る，ロシア・モスクワ～

在ロシア日本国大使館経済部　中川拓哉 Takuya Nakagawa

01 はじめに

在ロシア日本国大使館で，情報通信技術（ICT）等担当でモスクワに赴任して約1年半が経ちました．日本にとって隣人でもあるこの国に家族5人で暮らし，ロシア人，ロシアで働く日本人，ロシアで働く外国人と多く知り合う機会を得ました．

最近日本では，隣国との関係がクローズアップされています．中国，韓国等とは切っても切れないほどの経済的な結びつきや人的交流がある中，ロシアにはそれほどの経済的な結びつきはないようです．ロシアは「目覚ましい経済発展を遂げた国だが，怖い国，何が起こるか分からない国」というイメージが先行しているように思います．マスメディアも事実よりネガティブに伝える傾向があるかもしれません．そのせいか，最近特に増えた観光客や出張者から「思ったよりいい国ですね．」との声を聞きます．この国に暮らすようになった今となっては，これを聞くと複雑な気持ちになります．

確かにビジネス面だけでなく，生活自体にも苦労を伴う国ではありますが，ここ2，3年での改善は目覚ましく，数年先は，別の国という人も多くいます．

「敵を知り，己を知れば百戦危うからず．」まずは，私と私の家族が，ロシアで体験したこと，思うことを御紹介させて下さい．

ロシア人は日本に対して，純粋なあこがれと興味を持ってくれています．隣国の中でも，対日感情の良い国といえるでしょう．通信業界の鍵を握る本誌読者の皆様と当地でお会いし，日露双方に利益のある交流に結びつけられたら，どんなに意義深いことかと思います．お待ちしております．

02 ICT 分野から見たロシア

2.1 統計データ

簡単に申しますと人口1.4億人，面積は日本の45倍（1,709.8万 km^2），一人当たりGDPは日本の1/4程度（8,681米ドル），対日輸出額，輸入額共に73億ドル．ロシアにとっての最大の貿易国は中国（輸出4位，輸入1位），政府の財政規模は約30兆円，今年の経済成長率は予想値で約4% です（出所：JETRO 統計等）．

当地を新興国として捉え，生産・消費拠点として考慮するなら「中国ほどの市場はなく，首都も日本からはるか遠く，人件費もさほど安くなく，進出はしにくい国」という評価になってしまうと思います．

しかし，生産・輸出量とも世界第1位，2位を誇る豊富な原油・天然ガスに支えられ，安定した購買力を誇っていることは確かです．また，研究者，技術者の賃金が諸外国と比して比較的安いともいわれており，技術開発やソフトウェアの外部委託先として考えている企業も多いようです．

2.2 ビジネス環境

在ロシア日本国大使館経済部では，当地進出の日本企業を御支援し，要望事項を取りまとめ，露政府への申入れを行う等の業務も行っています．直接日本企業各位からお話をお伺いする機会もありますが，当地で多く聞くビジネス上の困難は，通関，労働許可，登記，建築許可，事務所賃貸等における許認可の煩雑さ，不透明性が挙げられます．BRICsという言葉がはやった際の経済誌に「ロシアリスク」と書かれたものの一つかと思います．税関手続については，2010年1月に発足したベラルーシ，カザフスタンとの関税同盟も，複雑さを増す要因になっており，いまだルール的に不透明な部分が残っていることも否めません．

これに対し，ロシア政府も改善に向けて行動を取っていることは確かです．また，多くの日本企業も自社のロシア人スタッフをうまく使いこなし，これらの諸問題を乗り越えられているとお聞きしています．

2.3 通信市場概観

御縁があって，当地の通信系日本企業の各位とおおむね月に一度，懇親会をさせて頂いています．筆者から報道情報を提供させて頂く一方で，各位からそれ以上の情報を教えて頂いています．そのような情報も合わせつつ，当地通信事業者グループの業界地図を作成しました．大変動きが激しい当地の通信業界ですので，これが皆様のお手元に届く頃にはまた変わっているかもしれません．

特に，政府系グループの「スビャジインベスト社」の再編が大きな話題になっています．無事，傘下のロステレコムブランドを頂点として，多数の地域通信会社をうまくまとめられるか，そして政府の関与はどのようになるのか，これに注目が集まっています．

2.4 大統領府主導の経済近代化への取組み

奇しくも筆者が着任した2009年5月に，大統領付属経済近代化・技術発展委員会が発足しました．原始的な経済構造（屈辱的な資源依存等）から脱却し，イノベーション型経済への転換を目指しています．その優先5分野が「医療，エネルギー効率，核エネルギー，宇宙・通信，IT」です．

そして，近代化のエンジンとなる象徴的なプロジェクトが，モスクワ近郊のスコルコヴォに建設が予定される「スコルコヴォ計画」（ロシア版シリコンバレー）です．日本でも報道されましたので，御存じの方もいらっしゃるかと思います．同計画の対外担当窓口を務める方曰く「大統領府も関わるが，あくまでこのプロジェクトは民間セクターによるもの．研究開発に特化し，イノベーションを生み出す街にしたい」とのことです．「イノベーション」が，ある種人工的に整えられた環境で起こせるのか，このことに注目や議論が集まっているように思います．

ノキア，IBM，インテル，シスコ等は参画を表明し，法律や知財保護等の仕組み，基金の設立などの検討をロシア側とともに進めています．スコルコヴォ入居企業への優遇措置（限度付非課税等）等も決まりました．残念ながら参加を表明されている日本企業はいまだありません．それは，我が国企業の琴線に触れるものがないのか，「スコルコヴォ」の具体的な形が見えないからなのか．一担当としては，このまま各国の主要企業が露企業と本プロジェクトのいろいろなルールを決めていくことに，不安を覚えることもあります．

本計画のスーパーバイザである，メドヴェージェフ大統領の一般教書演説（2009.11）等に，通信分野に関する発言が詰まっています．皆様のロシア進出へのヒントになれば幸いです．

© 電子情報通信学会 2011

家電量販店ではガラスケースに入れられ，店員に声をかけると触らせてくれます．全て SIM フリー．

スビャジエキスポコム 2010．モトローラも LTE を展示．

WiMAX 端末“Yota Egg”と Beeline のプリペイド SIM カードパッケージ．

① 2015 年までに全人口の 60% がブロードバンドインターネットを可能にする．

② スーパーコンピュータを産業に活用．通信線を使った（グリッド）コンピューティングを含む．

③ 電子政府の構築．2011 年までに 60 以上のオンライン手続を可能にする．情報通信は民主主義を発展させる手段の一つ（電子政府の構築はロステレコム社が受注）．

④ 2015 年までに放送のディジタル化を完了する．

⑤ 2015 年までに国産通信衛星の能力や軌道上での稼働時間に関して世界的標準に到達しなければならない．

2.5 当地通信サービスの 1 ユーザとしての感覚

政策的な話も重要ですが，ユーザ環境のリポートも有益かと考えますので，御報告させて下さい．

(1) 移動体通信

筆者は，当地 3 大携帯電話の一つ Beeline（ヴィンペルコム社）を利用しています．携帯電話は当地ガルブーシュカ（**5.1** 参照）で大奮発して購入した iPhone3G です．2009 年 6 月の値段は 17,000 ルーブル（当時 51,000 円相当）でした．当地の携帯電話は SIM（Subscriber Identity Module）フリーです．料金は安く，500 MByte，100 分通話，SMS200 通がセットで月額 1,000 ルーブル（2,800 円相当）です．モスクワの 3G は 2009 年 12 月から開始されたため，エリアは狭いですが，この 1 年で相当広がりました．

高速無線インターネットアクセスは，モスクワ，サンクトペテルブルグ等主要都市で，WiMAX（Worldwide Interoperability for Microwave Access）が利用可能です．当地で一般ユーザに最も広く普及しているモバイル WiMAX オペレータ Yota（スカルテル社）は月額 900 ルーブル（2,520 円相当）で通信量無制限で利用可能です．あまり速度は出ませんが，メールやウェブサイトを見る限りでは快適です．モスクワの三つの空港と市内を結ぶ Aero Express 列車にも採用され，乗客は WiFi を通じて無料でインターネットに接続できます．

他欧州諸国と比して，ロシアのユーザは新しもの好きと言われます．スマートフォンなどの高機能通信機器は本当によく見かけます．メドヴェージェフ大統領も無類のガジェット好きで知られ，iPad や iPhone4 を使いこなし，ツイッターにも書込みを行っています．

(2) インターネットサービスプロバイダ

固定インターネットや電話で払う金額も日本と比較して安価です．電話は月額 440 ルーブル（1,230 円相当）で市内固定電話は話し放題．インターネットは 10 Mbit/s の速度，通信量無制限で月額 650 ルーブル（1,820 円相当）です．プロバイダ間や CATV 事業者との競争も働いていると思います．

他方で業務目的でのインターネットは相当高いと聞きます．これは，商業ビルの管理者と通信事業者が排他的な契約を結び，テナントに対してプロバイダ 1 社としか契約できないようになっているためです．本件は連邦反独占庁も調査をしています．

2.6 新しい通信サービスへの対応

2010 年は 3.9 世代携帯電話（LTE：Long Term Evolution）への準備が行われました．モバイル WiMAX 事業者のスカルテル社や，メガフォン社が LTE の実験を行っています．スビャジインベストグループも，ロステレコム社が連邦 30 地域で 2.3 ～ 2.4 GHz の周波数を LTE 向けに獲得しました．しかし，2010 年後半から国防省関係の通信事業者も LTE への参入意向を示し，周波数割当が難航するという事態となりました．今後も，新聞報道に目が離せません．

毎年 5 月に開催される当地最大の通信展示会「スビャジエキスポコム」でも 2010 年は各通信事業者の LTE の展示が目を引きました．モトローラ，アルカテルルーセント，Huawei などのロゴが通信事業者のロゴと併記されており，既に欧米企業と密接な関係が出来上がっていることもうかがわれます．今年のスビャジエキスポコムは 5 月 10 ～ 13 日，テーマは「ディジタルコンテンツ」です．

03 ロシア人ってどんな人？

2.2 で述べたロシアリスクには，常識・慣習の違いに基づくやりにくさなども挙げられています．ここでは筆者が接したロシア人を通じて，感じたことをお知らせし，少しでもロシアリスクを減らすことに資することができればと思います．

3.1 多民族国家

これまで，筆者は単にロシア人と書きましたが，ロシア連邦にはロシア人以外にも，ウクライナ人，ベラルーシ人，タタール人，バシキール人，カザフ人，ウズベク人など多くの民族が生活しています．それゆえ，常識が違うことを恐れずにコミュニケーションを取るため，我々から見ると強く主張をする傾向にあると思います．他方で，我々外国人の主張にも同様に接し，耳も傾けてくれるという利点もあるように思います．

日本人とはコミュニケーション量にも差があると思います．こちらから積極的に取って，ようやく彼らの普通くらいではないでしょうか．

3.2 類いまれな歴史と厳しい自然

1 万年以上も前からこの土地は零下 30 度の厳寒の冬にも見舞われる大変厳しい自然環境ですし，加えて政治的にも，ロシアの人々は帝政時代から専制君主に従わされ，ソ連時代には一部独裁者の施政すらも受け，ソ連崩壊後は，今日の食べ物に困るような経済の崩壊を生き抜いてきています．

それらがゆえに，陽にも陰にもロシア人の気質を以下のように理解しました．

① 生き抜くためには何でもするという芯の強さを持つ

② 短期実利的で，遠い先のことは不確実，ともすると無意味と考える

③ その場に居合わせた人でもコミュニケーションを取る傾向が強い

④ 友達には，自己犠牲をもいとわない

⑤ 現状をありのままに受け入れられる忍耐強さがある一方，現状を好転させるために努力することには億劫

私の子供たちはときにロシア絵本をめくっていますが，ある絵本には最後にきつねが出てきて，知恵を働かせて利益を持っていきます．日本の絵本のように，うさぎなどが出てきて，きつねを懲らしめるということはありません．

ロシア人は日本人と比して実利を追いやすい傾向にあると思いますが，ともするとこういう絵本を昔から読んでいるからでは？と勘ぐったりしてしまいます．他方で，彼らは仲良くなった人には冷たくできない気質があり，困ったことを打ち明けると，スイッチが入ったように動いてくれることがあります．

3.3 自国愛

まれに，ロシア人が自分の国のことを悪く言うときがあります．歴史的にも先進諸外国に遅れをとりがちで，追いつくことを常に行ってきたロシアですから，自分たちの国が遅れていることに慣れているという雰囲気で話してきます．しかし，当然ながら基本的には自国を愛しており，自分の国を悪く言われたくないがゆえに，先に自分から悪く言っておく趣旨によるケースが多く，部分的にも同調することはお勧めしません．

他方，諸外国にはないロシアだけの素晴らしいところを外国人から賞賛されると，恥ずかしそうにされますが，喜んでもらえます．それが特にバレエやオペラ，クラシックなどありきたりのものでないときに効果が高いように思います．それは日本人も同じですね．

3.4 親日家ロシア人

冒頭にも触れましたが，ロシア人は日本のことが大好きです．ロシア人の対日・対米・対EU好感度世論調査（出典：レヴァダセンター）では，日本のことを「大変良い・良い」と答えたのは2009年は78%，対露関係が懸念された2011年でも67%で，実に7割以上の人が好感を持っています．

お店や街角で私たちと話すロシア人が，こちらが日本人であることを知ると，急に態度が好転した経験が何回もあります．「俺，日本語知っているぞ『トヨタ』だろ」等と言いつつ，知っている日本語を全てぶつけてくるなどの会話が始まります．

日本食レストランも（質はどうあれ），街角にたくさんありますし，日本の車や家電は当地では高嶺の花です．ロシアの田舎に行っても，電気店の看板には日本ブランドを見つけます．そのたびに偉大さと経済力の強さを感じます．それこそが日本の国力の源泉ではないかと，改めて思い知った気がします．

ただし，ロシア人にとって，アジア系の人々と我々日本人は区別がつきませんから，街を歩く際は，「好感度」に関係なく，十分注意して下さい．

04 出張者向け情報

4.1 キリル文字のススメ

ロシア人とコミュニケーションを取るためには，やはりロシア語習得が必要ですが，格が六つもあり，名詞の性が三つあり，固有名詞すら活用するロシア語は，入口のハードルが比較的高い言語の一つです．まず簡単な挨拶を丸暗記して頂くとして，お勧めはキリル文字の習得です．

キリル文字が読めるようになると，実は英語と同じ場合があります．例えば「Ресторан」рはrで，нはnと同じ発音になります．読めましたか？ 他にも，с…s，я…ya，ю…yu，и…i，п…p，д…d，ф…f，з…z，б…b，г…g，у…u，ч…ch，ц…ts，これらを覚えておくだけでだいぶ違います．「Компьютер」（コンピュータ），「регистрация」（登録），「Университет」（大学），「Интернет」（←もう読めますね？）など，読めると実は聞き慣れた言葉であることが多いことに気がつきます．特に通信分野は外来語が多いので，あっさり分かることも多いです．そもそも，看板や標識等に英語表記がほぼ皆無のモスクワでは，周りの看板が音として読めるようになるだけでも，大分安心できます．

4.2 食　事

初めての訪問の方は，ロシア料理は脂っこいのではないか，という心配をされる方も多いですが，日本人の口にも合うおいしい料理です．代表格は，実はウクライナ料理の「ボルシチ（赤カブのスープ）」です．サワークリーム（スメタナ）を入れると味がまろやかになります．その他，同じくウクライナ料理の「キエフ風カツレツ（溶かしバター入り鶏カツ）」も日本人に食べやすい料理です．パンの中にいろいろなおかずが入った「ピロシキ」（当地のピロシキは油で揚げていません），魚のスープ「ウファー」，「オリビエサラダ」，「毛皮のコートを着たニシン」，水餃子のような「ペリメニ」，ウズベキスタンのピラフである「プロフ」，麺入りスープの「ラグマン」など，皆さん気に入って召し上がります．

4.3 おみやげ

日本人ですから，つい職場へのおみやげ等を気にしてしまうものですが，出発前日の壮行会などでうっかり「キャビア」を約束して後悔される方がいらっしゃいます．たった50gのキャビアが，7,000ルーブル強ですから，約2万数千円します．私も出張者に御案内することはありますが，あまりの値段の高さに皆さん目を丸くされます．お気を付け下さい．

次におみやげとして候補に挙がりがちなのはウォッカです．これは各種あり，比較的買いやすいおみやげです．高級の代表はチョウザメのマークが入った「ベルーガ」ですが，ネタとコストパフォーマンスでいくなら「プーチンカ」でしょうか．スーパーマーケットなどでも各種ありますから，じっくり選んでみて下さい．

加えて，ロシアのビールも意外においしいです．「バルティカ」はスーパードライよりもう少し軽い感じのものから，アルコール度数の高い濃いものまで種類が豊富．パッケージの数字はアルコール度数を表しており，0，3，7，9等があります．味わいを大事にされる方は，風車のマークが付いた，「スターリー・メリニク」（古い風車）がお勧めです．キリンビールに似ているという人もいます．その他では「ザラタヤ・ボーチカ」（金の樽）というものもあります．

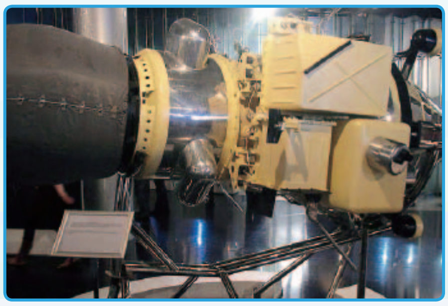
ビールのお伴としては，くん製の魚などもありますが，意外においしいのはポテトチップスで，イクラ味，キノコ味，長ネギ味など，日本には見られないおいしいポテトチップスはきっと話のネタになります．ソフトドリンクであれば，ミックスベリージュースであるМорс（モルス）が口に合います．健康にも良いとされていますから，レストランでも人気のあるメニューです．

記念の品としては，マトリョーシカ人形，毛皮の帽子などが代表的ですが，それらは空港や赤の広場周辺の屋台でも買うことができます．最近はサッカーの本田選手の人気からか，モスクワのサッカークラブЦСКА（ツェスカ）のグッズも売れているそうです．

左がサワークリーム・キノコ味，右がカニ味のポテトチップス．

マトリョーシカ人形．

ガルブーシュカ（Bagrationovsky Pereulok 7）



宇宙飛行士記念博物館（Prospekt Mira 111）

05 理系のためのモスクワガイド

クレムリン，赤の広場，ノボデヴィッチ修道院，雀が丘／モスクワ大学，トレチャコフ美術館…きらびやかなモスクワ観光案内は旅行ガイドに任せるとして，本誌読者層を狙って，「理系のためのモスクワガイド」をお届けします（2010年11月現在）．

5.1 ガルブーシュカ（Bagrationovsky Pereulok 7）

ここは，「ロシアの秋葉原」として旅行ガイドにも載るようになった電気街です．ジャンク屋から，大手家電チェーン，有名家電ブランドまで雑多にお店が並んでいます．個人商店の集合体ですから，欲しいものがあるときは事前にウェブサイト（露語）で検索してから行くことになりますが，冷やかして歩く分には問題ありません．競争も激しいため，各店の店長は「サービス」のなんたるかをよく知っていますから親切ですが，気付かずに日本の法令に抵触するようなものをお持ち帰りにならないよう，お気を付け下さいませ．

http://www.gorbushkin.ru/index.php

5.2 オスタンキノ・タワー（St. Akademika Koroleva 15）

1967年に完成した，540 mの放送塔．展望台は337 m．東京スカイツリーができると順位が下がりますが，タワーとしては現時点で世界第3位の高さを誇ります．子供を連れて入れないため，展望台にはまだ行けていませんが，下から眺めると，あの辺が，放送局とタワーを結ぶアンテナ（STL）か…FM放送のアンテナはどこかな？ と探してしまいます．エクスカーションツアーはウェブサイトから予約できます．

http://www.tvtower.ru/（公式）

http://www.nashabashnya.ru/index.htm（エクスカーション）

5.3 宇宙飛行士記念博物館（Prospekt Mira 111）

野口宇宙飛行士がロシアのソユーズロケットで国際宇宙ステーションに飛び立ち，無事任務を終えて帰ってこられたことは御記憶に新しいと思いますが，その輝かしいソ連・ロシアの宇宙開発の歩みを目の当たりにできるのがこの博物館です．ガガーリンより先に宇宙に行ったライカ犬，1957年の人工衛星「スプートニク」，宇宙服や，ロケットエンジン，月面車「ルノホート」など，ロシア語を解せずとも見所満点の博物館です．最新のロケットは決してハイテクではないのですが，多くの犠牲のもとに積み重ねた技術の確実さ，偉大さを感じることができます．

http://www.museum.ru/m329

5.4 総合技術博物館（Nobaya Ploshadi 3/4）

電子機器や家電で，ロシア製を見ることは今やほとんどないのが残念ですが，この博物館ではソ連時代からロシア時代にかけての，テレビ等の家電，通信・放送機器から宇宙・原子力まで，あらゆる工業技術に関する資料が展示されています．サンクトペテルブルグで使われていたエリクソンの古い電話やソ連製の自動電話交換機もありますが，中でも圧巻は核融合施設，及び原子力列車の展示です．このような発想はソ連にしかできない，唯一無二のものと実感できます．

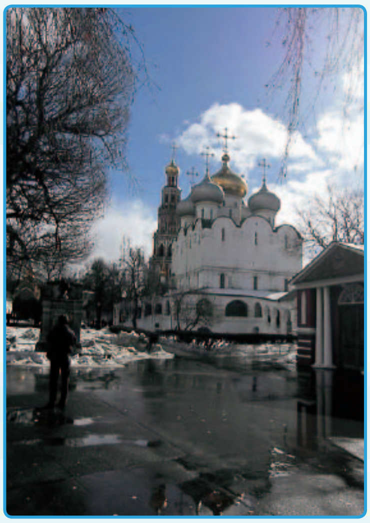
http://polymus.ru/

06 最後にお伝えしたいこと

あとどれだけ当地にいられるか分かりませんが，恐らく残り1年ほどではないかと思います．残りの任期は，この国の人や，この国で働く日本人及びそれ以外の人とより多く知り合うことができればと思っています．

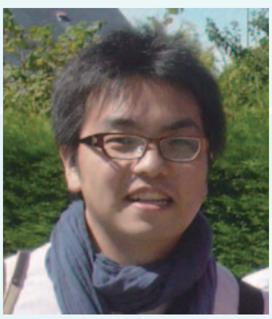
これからのロシアは，1990年代の経済危機を知らない世代たちが活躍し始めると思います．彼らは今はスターバックスなどでバイトをしていますが，この世代の多くの人は，私が話しかけても，ときに英語で応答し，普通に笑顔を見せてくれます．ソ連時代に相争った西欧や米国にも親しみを持って接しています．彼らが社会の表舞台に立つとき，この国はまた大きく変わってくると思います．それはこの国が「普通の国」になるということなのか，どういう結果をもたらすのか，全く考えも及びませんが，新たな可能性を秘めた世代であることは感じることができます．そして私は個人的にも大変期待しています．

日本とロシア，多くの壁があるようで，実は日本人のみが壁と感じていることが多いようにも思います．今のロシアとの仕事では，大変なこともたくさんありますが，日本がこれをリスクと考えすぎ，この国から離れてしまうと，上に述べた若い世代から日本の良いイメージが薄れ，パートナーとして西欧や，米国が強く意識されてしまうことにつながると思います．そしてこれは，日本にとって大きな損失となるはずです．



私と私の家族が，ときに困りながらも，なぜか愛してやまないロシア．これからもずっと見ていたいと思います．

Россия, Я тебя любрю!



中川拓哉

平14総務省（情報通信）採用．電波部基幹通信課，農林水産省地域整備課，情報流通行政局情報流通振興課等を経て，平21-05より在ロシア日本国大使館経済部二等書記官．２男１女．

開発物語

ISDNの標準化
～パイオニアとしての先駆的な役割とその限界～

早稲田大学 加納貞彦 Sadahiko Kano
東京工科大学 北見憲一 Kenichi Kitami

まえがき

ISDN（Integrated Services Digital Network）は，現在インターネットで実現されている音声・データ・画像など情報通信サービスをディジタル網で一元的に実現しようというビジョンを持った先駆的な動きであった．このビジョンは1970年代にITU（International Telecommunication Union，国際電気通信連合）に提案され，1980年代から本格的な検討がITUを中心に世界の先進各国で進められた［1］．当時は，音声通信は電話網で，データ通信はデータ通信網で行われることを前提として，ITUでもそれぞれの検討に別な研究委員会（SG：Study Group）が設けられていた．例えば電話網のプロトコル検討はSG11が担当し，データ網全般の検討はSG7が担当していた．

また通信網もアナログ方式が全盛の時代で，ようやく各国で当時台頭しつつあったディジタル技術をどのように網に導入していったらよいのかの検討が始められていた．加入者線から集められた多数の回線（チャネル）が多重化されている中継網では，網をディジタル化する方が経済的であったので，そのディジタル化は経済性の論理だけで行われた．しかし，中継網のディジタル化を行うにあたって，当時の先人たちの偉いところは，ディジタル化の特質が全ての情報を1，0のディジタル情報により表現できるので，加入者線の部分もディジタル化すれば音声・データ・画像情報を同じ加入者線で扱うことができるというISDNのビジョンを描いたところにある．

このビジョンには懐疑的な国もあったが，日本及び欧州諸国はISDNのビジョンの下に積極的に伝送路と交換機のディジタル化を進める機運にあった．このような時代的な背景を基に1977年からISDNの検討がITUで取り上げられ，1984年に暫定勧告が，そして1988年に本格勧告が承認された．この標準化にあたっては，日本から多数の代表が積極的に貢献した．ISDNのコンセプト及び伝送路の標準化には当時NTTの沖見勝也氏，ISDNの信号方式には当時KDDの太田亨氏，池田佳和氏，当時NTTの筆者らなどがITUの作業部会（WP：Working Party）や分科会の議長といったキーマンとして活躍した．ITUにおける標準化会議の雰囲気を，当時のSG11会合でのスナップ（図1）で紹介する．

図1　ITU-T・SG11会合風景（2000年）

本稿では，現在の若い技術者・研究者諸君に考えて頂く種を提供するという観点から，ISDN標準化のパイオニアとしての先駆的な役割とその限界について述べる．

ISDN標準化の先駆的役割とその限界

ISDNの標準化を現時点で振り返れば，現在のようなディジタル時代がくることを予見したパイオニアとしての先駆的な役割と，またパイオニアだからこそ持つ限界があることを当時標準化に携わった者として感じざるを得ない．

ビジョン面でのISDN標準の先駆的な役割としては，中継網をISDNのビジョンの下にディジタル化していったこと，また加入者網のディジタル化が進めば新しい各種の情報通信サービスが可能になるというビジョンを提供したことにある．

© 電子情報通信学会 2011

また，技術的に言えば，ISDN 標準の先駆的なところは，サービス及びネットワークの構造を標準化したことである．これによりネットワーク事業者が提供する伝送（トランスポート）サービスとその上で実現されるアプリケーション・サービスの区分が明確化された．またネットワークの標準化を，国際網の枠から飛び出させ，ユーザ網インタフェースの標準化，及びネットワークとネットワーク・インタフェース標準化まで拡大したことである．

中継網のディジタル化は，高速ディジタル基幹網の早期展開につながり，現在のインターネットの早期実現に大いに寄与した．各種の情報通信サービスが予見されるというビジョンは，ユーザ網インタフェースの標準化とあいまって，それらのサービスが花開く時代にふさわしい通信網事業の在り方を考察する機運を生み，各国の通信網事業の民営化及び端末インタフェースの開放に向かわせる機運を生じさせた．また，ユーザが使う通信機器がネットワークとは独立に発展できるようになったことで，通信端末分野への新規企業の参入も進み，インターネット時代のホームネットワーク機器も含めて，今日見られるような多彩なユーザ通信機器の出現を可能にした．この結果，1984 年の英国を端緒に 1985 年には日本及び米国で通信網事業の民営化（競争導入）と端末開放が行われ，その後世界各国で続々同じことが行われて，今日のディジタル情報通信時代への端緒が開かれた．

またネットワーク間のインタフェースの標準化により国内・国際におけるネットワーク間の相互接続条件が整備され，これが新規通信事業者との網間接続へと発展し，特に携帯電話網と固定網との相互接続などをスムーズに実現させるなど，自由競争導入の基盤となった．

通信事業への自由競争の導入やその基盤となる加入者線と網間インタフェースの標準化は，国際標準と整合する形での国内の通信標準（ITU 勧告のローカリゼーション）策定の機運となり，米国の T1 委員会，欧州連合（EC）の ETSI（European Telecommunications Standards Institute），国内の情報通信技術委員会（TTC）などの活動が活発化した．

一方，その限界といえば，各種の情報通信サービスの研究やインタフェースの標準化を，当時存在していた電話・ファクシミリ（以下，Fax）などの比較的単純な端末を想定して，網提供者（キャリヤ）側の目線で行ったことにある．当時出現しつつあった高機能なパソコン（PC）や更に今日の高機能な携帯通信機器（スマートフォン）が情報通信サービスの主流の通信機器になるという時代を予測できなかったところに限界があると言わざるを得ない．これが，比較的簡単な端末で実現できるプロトコルを ISDN の加入者インタフェースとしたという限界につながることになる．

時代の背景

ISDN の標準化が本格的に行われた 1980 ～ 98 年の期間は，どのような時代だったのであろうか．通信産業の歴史から見ると，市場開放と通信事業者の民営化という大きな変革期のただ中にあったといえる．この変革は ISDN のビジョンによってもたらされた一方，ISDN の標準化にも大きな影響を及ぼした．

この時期までは，通信事業は大きな先行投資が必要で，複数の競争的な設備を投資することが国民経済的に見て大きな無駄を生じるので，独占的に提供することが経済原則にかなっていた．したがって，世界各国で通信事業は国営若しくはそれに準じる独占的会社が行ってきた．それらの事業者に必要な通信機器を製造するメーカも国別に存在し，密接な関係を独占事業体と持っていた．例えば，フランスでは郵電省とアルカテルが，ドイツでは郵電省とジーメンスが協力する形になっていた．北米では，電話事業の創始者であったベル電話会社（AT&T）が研究開発を担当するベル研究所，機器製造を担当するウエスタンエレクトリックと一体で運営する，いわゆる垂直統合といわれた体制で電話事業を支えていた．カナダでも，同様にベルカナダとノーザンエレクトリック（後のノーザンテレコム）の垂直統合体制ができていた．日本では，国内通信を NTT が，国際通信を KDD が独占的に提供し，国内メーカである NEC，日立，沖電気，富士通が必要な伝送路，交換機等を製造し NTT，KDD に納入していた．

この独占事業体とそれに密接に協力する国内メーカで通信事業を提供する形態が前述のように，競争を導入することにより情報通信サービスの活性化を図る方向に転換されるようになった．1984 年には英国で国営であった British Telecom が民営化された．1985 年には日本及び米国で競争導入が行われて，日本では NTT が民営化され，新規通信事業者の参入が行われた．米国では，独占事業体であった AT&T が分割され，長距離通信を行う AT&T と地域通信を担当する 7 社の地域通信会社が誕生した．これにより旧 AT&T の研究所であったベル研究所も地域電話会社の R&D（研究実用化）を担当するベルコア（Bellcore）と AT&T の研究所に分離さ

れた．この後，1995 年のドイツテレコム，1996 年のフランステレコムの民営化，1988 年での欧州連合各国での市場競争の導入などが続いた．その過程で，通信ビジネスの垂直統合，若しくは主管庁とメーカ間の蜜月の時代が終焉していった．ISDN の標準化は，このような変革期である 1980 年代にまさに行われたのである．その後，1990 年代になると，インターネット技術の本格的な台頭の時代になり，シスコ社に代表されるインターネット機器製造メーカがインターネット標準の作成と機器提供という形で，通信産業全体を蚕食していく時代につながっていく．以上の経過を図 2 にまとめる．

技術的には，先行していた伝送路の PCM 技術によるディジタル化に対応し，1976 年には米国で No.4 ESS が，我が国では 1982 年に D60 が，ディジタル中継交換機として導入された．続く 1980 年代は電話網ディジタル化の仕上げとして，最も難関とされたディジタル加入者回路の開発を基盤としたディジタル加入者線交換機の導入が本格化した時代であった．米国では 1982 年に No.5 ESS が導入され，我が国では，1983 年に D70 が導入された．また，ISDN の豊富なサービスを可能とする本格的な局間共通線信号方式として，No.7 信号方式のメッセージ転送部と電話ユーザ部が 1980 年に標準化され，その後の ISDN ユーザ部標準化の基盤が形成された．

	ITU の標準化	各国の通信事業の動向
1972	No.6 信号方式承認	
1973	No.7 信号方式検討開始	
1974		
1975		
1976		加ノーザンテレコムに名称変更
1977	ISDN の検討開始	
1978		
1979		
1980	No.7 MTP，TUP 標準化	
1981	ISDN 検討の本格化	
1982		英国でマーキュリー参入
1983		
1984	ISDN 暫定勧告承認	同意審決を受け米 AT&T 分割，英 BT 民営化
1985		NTT 民営化，米国に市場競争導入
1986		
1987		
1988	ISDN 本格勧告承認	
1995		独 DT 民営化
1996		米ルーセントが AT&T から分離，仏 FT 民営化
1997		
1998		欧州各国で市場開放，加ノーテルに名称変更
1999		Bellcore がテルコーディアに変身

図 2　ISDN が標準化された時代

端末機能としては，電話網での標準的な Fax として広く普及した G3 方式が 1980 年に標準化され，ISDN への適用を目指した G4 方式の標準化も始められた．また，ビデオテックス，テレテックスという当時テレマティクサービスといわれた各種のデータ通信サービスの標準化が進められていた．この 1980 年代は，現在隆盛を極めているインターネットにおいては，基盤技術が着々と積み上げられていた年代であったが，一部の研究者が中心となって推進するに留まり，コンピュータ通信の標準化の主流は，ISO で 1977 年以来標準化が進められ，1984 年前後に規格が制定された OSI であった．

標準化のポイント

ITU-T における標準化の推移を見ると，それまでは電話網の枠組みの中で，各国の国内電話網を国際間で相互接続するために，サービス，品質，番号方式，伝送方式，交換方式，信号方式等の個別の標準化を行ってきた．他方，純粋に国内マターである加入者線インタフェースに関しては，従来その国際標準化は，ITU では検討の対象外であった．しかし，ISDN においてはディジタル信号が国際網を経由してユーザ網インタフェース間でエンドツーエンドで直接送受されるために，その標準化を ITU で行うということになった．このインタフェースの標準化は，ユーザの通信機器の国際市場を形成するためにも重要なことと考えられた．また国内電話網に関する標準化も，従来は ITU で取り上げて来なかったが，各国における競争導入により複数の国内網を接続する必要があるため，共通の網間インタフェースを標準化する必要があるので，国際・国内で共通の網間相互接続インタフェースの標準化を行うことになった．

ISDN の標準化は，このように，ITU における標準化範囲を国際間だけでなく，国内網の網間及びユーザ網インタフェースまでを適用範囲とするという具合に大幅に拡大した．

ISDN の標準化を進める過程で，大きな技術的な課題は，相互には通信できない多種・多様な端末に対し，同じネットワーク，インタフェースを共有できるようにすることであった．当初の検討では，電話専用の A1 インタフェースなど，用途ごとのインタフェースを設ける考えもあった．しかし汎用・多目的のインタフェース（Ax インタフェースと呼ばれた時期もあった）で一元的に ISDN のサービスを提供していく，という枠組みが固まった．

この汎用・多目的インタフェースを利用者の負担を最小限にして実現するため，複数の端末を収容できるバス接続を実現することとした．バス接続では，複数の端末がランダムにバスの利用を試みるので，その競合をエレガントに制御できる必要があった．また，着信側のインタフェースに複数の対応メディアも異なる端末が接続され得るので，その中から発側と通信可能な端末のみが応答できるようにする必要があった．これらの課題を更に難しくしたのは，端末のポータビリティの確保で，使用者が特別な操作をせずに，バスに端末を接続すれば，直ちに使えるような方式が求められた．

これに対して，バス接続でのアクセス競合の新しい解決方式やバス接続への着信時に多様な端末から通信可能な端末（例えばG4 Fax）を選択する新しい着信制御方式が考案された．これらの技術の詳細な説明は本稿では省略する［2］～［8］．ISDN用に開発された技術とインターネットの技術と比較すると，インターネットでは，下位層はIP（Internet Protocol，＋リンク技術）で統一されており，通信可能性の判定は不要になっている．また，インターネット用に開発されたDHCP（Dynamic Host Configuration Protocol）手順を用いて，PC（Personal Computer）接続時に自動的にIPアドレス等が割り当てられる形で，端末のポータビリティも確保されている．個々のアプリケーション・サービスを実現する応用層は，トランスポート層が提供するポート番号で識別され，標準的なサービスに対してはウエルノウン・ポート番号と呼ばれる形で，使われるべきポート番号が標準として規定されている．このように同様の問題を解決するのにインターネットのプロトコル（TCP/IP：Transmission Control Protocol/Internet Protocol）では別な解決方法をとっており，これが現在の主流になって，マルチメディアサービスを円滑にインターネット上で可能とする要因になっている．

ISDNでは，国際的な標準化インタフェースを固めるため，様々な要求条件が各国から出され，これを満たす解が追求された．例えば，インタフェース構造で見れば，当初は各国のサービス要求と加入者線伝送方式の実現見通しを反映してB＋d＋d，B＋D，B＋b＋Dのような様々なインタフェース構造が提案された（B＝64 kbit/sの通信用チャネル，b＝16 kbit/sの通信用チャネル，D＝16 kbit/sの制御信号用チャネル，d＝8 kbit/sの制御信号用チャネル）．

これが，審議を重ねる中で最終的に2B＋Dという形で一本化され標準化された．この議論の過程はシェークスピアの戯曲「ハムレット」の言葉をもじって，「2B or not 2B」といわれたものである．

標準化を推進するプロセスの改善

ISDNの標準化には，従来の国際標準化活動には参加していなかった各国の研究機関で研究開発を担当していた専門家が多数参加した．主な機関を挙げれば，NTT及びKDDの研究所（日本），ベル研究所・ベルコア（米国），ベル・ノーザン・リサーチ（カナダ），BT研究所（イギリス），CNET（フランス），FTZ（ドイツ）などである．ISDNのユーザ網インタフェースを担当したSG11の第6作業部会（WP6）（議長：加納）は年2回開催されたが，毎回の参加者は120～150名程度もあった．また毎回の作業部会の会合には，毎回100件以上の多数の寄書が各国の研究機関から提出された．

このような多数の専門家と寄書からなる会合を効率的に開くために，議長としての加納は様々な工夫を行った．例えば，分科会（SWP：Sub-Working Party）を設けること（一つの分科会の議長を北見が担当した），作業部会の中にキーメンバを集めたマネジメントチームを設けて，会合の一日前に集まり提出された寄書をどこでどのように議論するかを決めること，会合で取り上げる提案は口頭では認めず，必ず寄書の形で行うことなどである．このような簡単なことでさえ，それ以前のITU会合に出ていたベテランからは苦情が出た．例えば分科会を設けることは，派遣する代表が少ない国には会議の進捗が分からない，マネジメントチームには特権が与えられるのではないか，口頭での提案を認めないのは柔軟性に欠けるなどであった．これらの苦情に対して，100名を超える参加者，100件を超える寄書のある現状ではそうせざるを得ないことを丁寧に説明し了承してもらった．その代わりに運営の透明化と分科会の報告書を最後の全体会合に必ず提出してもらうこととした．この結果，特にマネジメントチームのメンバ（分科会議長を含む）には大変な御苦労を強いることになり，大半の方の会議期間中の睡眠時間は大幅に削られた．しかし，皆，気持ち良く協力してくれた．皆で協力して新しい時代を切り開いていくのだという気概にあふれていた．

また勧告の文章をできるだけ早く作成し，それを土台にブラッシュアップして議論することとした．そのために，勧告案を以下の3段階に分類することとした．

第一段階　Preliminary

第二段階　Cooling（寄書でのみ修正提案可能）

第三段階　Frozen（誤りでない限り修正禁止）

この段階分けにより，作成中の各勧告案がどのような段階にあるのかについて参加者の意識統一ができて，議論が建設的に行われた．

更にISDNの標準化が総合的なプロジェクトであるために，多数の研究委員会（SG）が関与した．例えば網全体のコンセプト・ISDN標準化の統括（SG18：現在のSG13），伝送方式（SG15），信号方式・プロトコル（SG11），サービス・番号方式（SG2），情報通信機器（SG8：現在のSG16）などである．加納は，SG11の作業部会の議長であるとともに，網全体のコンセプト及びISDN標準の統括を行っていたSG18でも課題担当者（ラポータ）の役割を与えられ，各SG間の調整に当った．このため，年に10回程度の外国出張を行い，標準化の進捗だけでなく，各SG間の調整の任に関わった．ここにおいても複数のSG間の調整を行う仕組みをITUに提案し，採用された．例えばSG間の調整を行うためにリエゾンステートメントをSG間でやり取りすること，議論が必要な調整にはSG間で合同検討会（Inter SG（ISG）会合）を開くことなどである．

また，民間標準化団体や地域標準化団体との協調体制の確立にも努めた．

標準化会合の大切さ，楽しさ

「下部構造は，上部構造を規定する」とマルクスは言った．下部構造である社会インフラストラクチャ（基盤）を作ることは，上部構造である社会を変革することである．このような気概を技術開発を担当する私たちは持ってよい．科学者は真理の探究が使命であるが，工学者・技術者はその成果を社会に具体的に提供することにある．現在はグローバル化社会の時代である．技術開発したものが社会に受け入れられ全世界で使用されるためには，国際標準化が必須となる．

このように国際標準化の活動は，やる価値のある大切な仕事である．まず提案したい技術・方式を持って，それを世界に広めようという目的意識を持って，国際標準化活動に参加することが大切である．技術動向把握という参加の形態もあり得るが，その場合も，自らの技術者としての見識をその場で示し，議論に入っていくことで，得られるものが大きく変わる．

次に国際標準化作業に自ら参加することには，どのような楽しさがあるのかを私たちの体験を通して感じたことを述べる．まず，体感すると思われるのは，一企業，一国内で開発された技術は，独りよがりになりがちで，これが国際標準化の場でもまれ，最後に生き残るのは普遍性があり，優れた技術になっている，ということである．国ごとに様々な価値観や文化が存在し，各国の提案には知らず知らずのうちに，そういったものが反映されている．標準化の場でもまれる中で，各国が実現したい要件を満たしつつ，どこの国でも使える技術に進化させる必要がある．その過程を見届けることは，これからのグローバル化時代に役立つ得難い経験といえる．

また，各国の代表は，それぞれの国や会社を背負って参加してくるので，当然，議場の場では激しい応酬もある．しかし，会議が終われば一個人として，様々な交流を経験できる．筆者（北見）も，会議場で相手の提案を強く批判した後，宿の近くのレストランに行くと，罵倒した相手がいて一瞬ためらったが，同席してみたらフランクに付き合ってくれて，大いに安心した経験もある．この経験から言えることは，議場では問題（Problem）だけを議論し，決して議論の相手の人間的（Personal）な側面には触れないことである．逆に，議場外に出れば，今度は問題（Problem）は忘れて，人間的（Personal）側面で交流を深めることができる．議場内で真剣に議論を戦わせた相手と親しい友人になることがしばしばある．

また議場内での議論及び議場外での英語での会食の場も多く，当然のことではあるが，英語でのコミュニケーションを磨かざるを得なくなる．よく，日本人は英会話が下手と批評されるが，当時「日本人は1回目は静かであるが，2回目にぼちぼち話しだし，3回目には饒舌になる」という論評もあった．中学・高校・大学の教養で基礎力を培われた英語力は，本当に使わざるを得ないときには，力を発揮するものである．そのためには1回目は静かに会議の進め方や発言の仕方などを各国代表の議場でのやり取りを通して学ぶ．この表現は使えるといったことなどをメモしておくのもよい．2回目からは思い切って発言してみることを勧める．そうすれば3回目からは度胸もついてその場の議論の流れに乗った発言もできるようになる．

標準化活動の経験が深まれば，課題担当者（ラポータと称されている）や，会議の議長の役も回ってくるようになる．こうなると，縁もゆかりもない各国代表を束ねて，意

見をまとめたり，仕事をしてもらったり，ということになる．リーダとしての言動で外国人を動かすことになるので，論理や人間的な誠意・ユーモアなど持てるもの全てを使って，参加者を引っ張っていくことになる．よくしたもので，役付きの仕事で困っているときに，本人が真摯に取り組んでいれば，議事メモを取ってくれたり，発言の解釈をしたりして，親切に助けてくれる人たちも現れる．こういった人たちとの交流も，得難い経験である．

私たちも幾度かの失敗を経て，議長やラポータをやらせて頂いたが，その経験は世界を変革する活動に従事している使命感と満足感，そしていろいろなことを学ばせて頂いた機会だったと今でも感謝している．

むすび

これまでISDNの標準化について，その活動が目指したビジョンとその実現に向けた挑戦，その活動の背後にあった電気通信事業環境の激変，ISDN標準化の主要ポイントについてまとめてきた．また，標準化といえども，各国の代表による人の営みであり，その営みの円滑化に向けて様々な工夫がなされたこと，その営みに参加することの意義や楽しさについても，筆者らの経験を踏まえて述べてきた．ISDNの標準化には様々な局面がある．それを筆者らの限られた体験を通してまとめたが故に，言及しきれない面，偏った見方も残されていると思うが，御容赦頂きたい．

振り返ってみると，ISDNはディジタル接続がマルチメディア通信を支えるというビジョンを示し，電話網のディジタル化の技術的可能性を示す等，先駆的な役割を果たし，また網間インタフェースの標準化等により，通信事業での競争環境の整備にも貢献したといえる[9]，[10]．しかし，コンピュータも含めた大きな技術の発展の中で，その限界も持たざるを得なかったことも否めない．特に，その後の大発展でマルチメディア通信の主役となったコンピュータの接続という観点から見ると，64kbit/sは物足りなく，回線交換やコネクション形のパケット通信も多数の相手とバースト的にデータをやり取りするコンピュータ通信には適していなかった．また，インターネットの基盤となったコネクションレス，ベストエフォートのサービス理念は，当時の通信事業者からは受け入れ難いものであったし，ルータの容量拡大も当時の想像を超えていた．これらも通信事業関係者のR&Dが主な推進者となっていたISDNの標準化の限界につながっている．とはいえ，総務省の発表した統計では，2010年3月末現在のISDN加入契約者数は国内合計で542万1,000ということで，新たなインタフェースを必要とするネットワークサービスとして，これほど多数のお客様に今でも使って頂き，お役に立っているのは，その開発に参画したものとして，感慨深い．

ISDN標準化の節目・節目で幾つもの決断がなされ，それらの決断が積み上がってISDNの各種仕様が固められてきた．前述した2B＋Dのインタフェース構造もその一つである．これらの過程を「妥協」と見る向きもあろうが，利害の対立する国際会議で一つの国が一人勝ちするという形は，結局は健全な標準につながらない．各国が「equally unhappy」でありながら，それでも承認しようとする微妙なバランス点をついているからそのような合意が得られるわけで，また，それが十分に技術的妥当性を有しているから，長く使われる標準になると言える．

また，民主主義と同様，ITUでのコンセンサスベースの合意形成は大変な手間のかかるものではあるが，それが故に特定国の独裁や，一方の国の主張を通すための戦争が避けられていると見ることもできる．昨今の南北問題に象徴されるように，国際的な交渉では当事者の主張は当初はかなりの距離があるもので，その壁を破るためには，明確な理念と議長国等の粘り強い努力が必要になる．ITUなどの国際標準化活動は，技術者同士が集まる

図3　1984年時点のディジタル加入者線信号方式関係者

図4　1988年時点でのディジタル加入者線信号方式関係者

分，まだ技術合理性が通用するという救いがあり，こういった活動に参加する中で，若い人たちが健全なグローバル感覚を磨いていってくれればと祈念する次第である．

最後に，このような執筆の機会を与えて頂いた本会に深く感謝する．この機会に，1984年のレッドブック勧告発行時，1988年のブルーブック勧告発行時の，SG11のディジタル加入者線信号方式標準化の関係者の記念写真（図3，図4）を紹介させて頂く．図3は，まだISDN草創期ということで，標準化への参加者は限られていたが，筆者らも含めて若い人も多く参加していた．図4になると，ISDNとして標準化すべき技術仕様の広範化に伴い，関係者も増加し，日本から中軸となって参加するメンバも多くなっていることが写真に写っているメンバの顔ぶれを見ても分かる．こういった記念写真を感謝状とともにキーメンバに配布するのはこのグループだけで，日本人のきめの細かさが国際活動で国際交流の和やかさを醸し出していたのである．

用語解説

- **ITUとITU-T**：ITUは国際電気通信連合（International Telecommunication Union）と称される国際連合の常設専門機関の一つで，スイスのジュネーブに本部がある．ITUには，電気通信関連の標準化を担当するITU-T（Telecommunication Standardization Sector），無線関連の標準化を担当するITU-R，開発途上国支援を担当するITU-Dの3セクタがある．ITUの各セクタ内には，本稿でも紹介した多数の研究委員会（Study Group）があり，各々に標準化課題群が割り当てられている．ITUは4年の会期を持ち，会期ごとに各SGの議長・副議長の選任，標準化課題のSGへの割当，事務局幹部の選任などが行われる．以前は，勧告の承認は会期末に限られていたが，現在は，随時勧告の承認が可能となるなど，標準化活動にも大きな柔軟性が取り込まれている．
- **寄　書**：寄書（Contribution）とは，ITUに参加する各機関がITU会合に提案する内容を記載する文書で，ITUでの標準化活動への寄与・貢献という意でこのような名称になっている．ITUでの文書には，この寄書の他，会合の報告書や勧告案などを記載するレポート文書（Report），議長や課題責任者，草案執筆者などの公的な職務の人が提出するテンポラリ文書（Temporary Document）などがあり，会合参加者は，これらの多様な文書を，その位置付けも理解しながら読み通して，活動に反映していく必要がある．
- **勧　告**：ITUにおける標準は勧告（Recommendation）と呼ばれる．これは，従来はITUが各国の電気通信担当の主管庁の集まりであったことから，各国の主権を尊重して，お勧めという意の用語を割り当てたものである．ITUの4年の会期ごとに，会期末の時点で承認されている勧告一式を，その都度表紙の色を変えて発行していたため，その色を参照して，レッドブック勧告等と呼んでいた．

文　献

[1] 加藤満左夫，沖見勝也，加納貞彦，"CCITTにおけるディジタル網研究状況"，信学誌，vol. 64, no. 11, Nov. 1981.

[2] 山下孚，加納貞彦，浅谷耕一，田村潤三，"CCITT SGXVIII（ディジタル網）の研究経過"，国際電気通信連合と日本，Nov. 1983.

[3] 加納貞彦，河西宏，"ISDNユーザ・網インタフェース—ねらいと構成"，NTT電気通信研究所研究実用化報告，Jan. 1987.

[4] 加納貞彦，"ISDNにおけるユーザ網インタフェース"，信学誌，vol. 70, no. 7, pp.713-716, July 1987.

[5] K.Okada, S.Kano, and H. Ishikawa, "ISDN Network Interworking in NTT", GLOBECOM '87, Tokyo, Nov. 15-18, 1987.

[6] 沖見勝也，加納貞彦，井上友二，ISDN・Iシリーズ国際標準とその技術，電気通信協会，東京，Nov. 1987.

[7] 淺谷耕一，北見憲一，"ISDNの標準化動向"，信学誌，vol. 72, no. 5, pp. 519-530, May 1989.

[8] S. Kano, K. Kitami, and M. Kawarasaki, "ISDN standardization", Proc. IEEE Special Issue on ISDN, Feb. 1991.

[9] 沖見勝也，加納貞彦，井上友二，村上英世，新版ISDN，マルチメディアとプラットホーム，電気通信協会，1995.

[10] 加納貞彦，"マルチメディア時代に向けたネットワークづくりの考え方—ユーザごとのアプリケーション網の構築を指向—"，NTT技術ジャーナル，March 1995.

加納貞彦（正員：フェロー）

昭42東大・工・電気卒．NTT研究所にて交換・信号方式を研究．ITU-T ISDN関連・作業部会議長（12年間），同第11研究委員会議長（8年間）．エセックス大修士，東大博士．NTT本社ネットワーク部長等を経て，現在，早大教授．

北見憲一（正員）

昭50東大大学院工学系研究科博士課程了．NTT研究所にて交換・信号方式を研究．ITU-T B-ISDN関連・作業部会議長（4年間），TTC標準化会議議長（4年間）．NTT研究所ネットワークアーキテクチャ研究部長等を経て，現在，東京工科大教授．

子どもと遊ぶ実験・工作教室

ゲルマラジオを作ろう

Lecturer 小瀬木　滋
Shigeru Ozeki　独立行政法人電子航法研究所

1 はじめに

好奇心は思わぬ現実に驚くことから始まる．思わぬ現実に接する機会があると，毎日がわくわく楽しい．自然現象に目を開き始める時期にある子どもたちに，そんな機会を準備したい．大人が子どもたちにできることは何か．本誌編集委員会の懇親会にてそんな話題が何度か出ていたが，昨年の忘年会でついに編集委員長が立ち上がった．

「それ，連載企画にしましょう．小瀬木さん，一筆．」

いや，あの，編集委員長，本会の諸兄相手にゲルマラジオの記事を書くなんて，思わぬ現実です．

本文では製作記事や論文とは視点を変えることとし，子どもへの説明事例などを中心に筆を進めたい． 本稿が，次世代の学問入門や子ども工作教室を支援する場合などに役立つ話題提供になれば幸いである．子どもと楽しもう．

2 部品選定の御参考

ウェブサイト（http://www.k5.dion.ne.jp/~radio77/ など）の他，多くの本や雑誌に，参考になる設計や製作の事例が見られる．基本は，アンテナとアース，共振回路，ダイオード検波回路，電気音響変換を組み合わせるだけである．ここでは，最近の部品選定の注意点のみを記載する．

ゲルマラジオの部品で最も選択肢の広いものは，共振回路であろう．この部分は，製作時間を左右するほか，使用環境に応じた方式を選ぶ配慮が必要である．屋外の大きな固定アンテナを使えるかどうかが，判断の分かれ目である．固定アンテナや電灯線アンテナを使える場合は，直径数 cm のコンパクトな空芯コイルなどを使用できる．この場合，コイルは単なるインダクタンスであって，アンテナの機能はほとんどない．ただし，最近は電源にいろいろな雑音が乗っている場合もあり， 電灯線アンテナを期待できない事例もある．一方，屋外の固定アンテナを使用できない場合，大きめのループアンテナがお勧めである．工作教室でも，直径数十 cm のループアンテナを採用している事例が見られる．

時間がなければ， フェライトバーアンテナなど市販品を使ってもよい． トランジスタ AM ラジオ用として，バーアンテナとポリバリコンは今でも入手できる．

時間と根気が十分あるなら，コイルは自作可能である．自作コイルも，小形のコイルから直径数十 cm のループアンテナ兼用のものまで選択肢は広い．画鋲（びょう）と電線で木造家屋の六畳間一杯にループを作った例もある．線材や巻き方などに応じて，受信感度，選択度，受信周波数範囲に影響する．しかし，細かいことを気にせずに，まずは遊び半分に作ってみることをお勧めする．最初は音が出るだけで子どもは驚き，喜んでくれる．

電線を密に巻いてコンパクトなコイルにするときはエナメル線など絶縁電線が便利である．隣の電線と接触しないようにコイルを巻けるなら，裸銅線も使用できる．はんだ付けをしないなら，安くて軽いアルミ線としてもよい． 図 1 に例を示す．

検波回路のダイオードには，ゲルマニウム製など順方向電圧が低いダイオードを使用すると受信感度が高くなる．入手困難な場合は，LED（Light Emitting Diode）やシリコンダイオードなどに順方向電圧分のバイアスを掛けても使用できる（http://bbradio.web.infoseek.co.jp/

▲図 1　ポリウレタン銅線，裸銅線，アルミ線

germa13/germa13.html）.

電気音響変換には，注意が必要である．クリスタルイヤホンなど高インピーダンス（数十 kΩ）のものがゲルマラジオによく使用される．100 円ショップやホームセンターなどで見られるほとんどのイヤホンは，そのままではゲルマラジオに使えない．イヤホンから見たゲルマラジオの出力インピーダンスは，ダイオードの動作点に応じて変化するが，ダイオード検波出力をそのまま供給する場合は数百Ω以下にならない．ホームセンターなどで見られるスピーカーやマグネティックイヤホンの多くは低インピーダンス（数十Ω）であるため，トランスなどインピーダンス変換回路の追加が必要になる．

3 部品収集を楽しむ

設計や部品収集に時間を割く余裕がないときは，キットを購入する方法がある．電子工作の雑誌や工作教室の案内などに，キット販売の広告がよく見られる．

個別に部品を購入する場合，電子部品販売店から購入できる．電話帳を調べると，近くに部品を扱う店が見つかるかもしれない．子どもと一緒に，部品屋探検も楽しい．

技術専門誌や工作雑誌には，電子部品通信販売の広告も見られる．ダイオードを 100 本単位で安価に購入できる店もあり，工作教室の準備などに便利である．

筆者が購入した部品の例を図 2 に示す．ダイオードは，5 本組で店頭販売されていた．バリコンも，ダイヤルや止めねじとセットで売られていた．ただし，ねじを締めすぎると引っ掛かって回らないバリコンもあるので要注意．店頭では，クリスタルイヤホンよりセラミックイヤホンの方が入手容易である．セラミックイヤホンは，電線の先にプラグが付いているかどうかの選択肢がある．写真はプラグ付きの例であるが，切落しの場合はイヤホンジャックの配線を省略できる．

▲図 2　ポリバリコンとダイヤル，ゲルマニウムダイオード（5 本），セラミックイヤホン，イヤホンジャック（電子部品販売店で入手した例）

電線やターミナル等の配線材や機構部品は，100 円ショップやホームセンターでも購入できる．電気関係以外の売り場にも目を配ろう．例えば，アルミワイヤは，自転車修理材料などとしても売られていることがある．目の前の物資を柔軟に活用できる発想を鍛えることは，子どもが困難を乗り切るために機転を利かせる良い練習である．自宅の廃棄物のリサイクルも選択肢である．

4 まずは部品で遊ぶ

小学生の心に戻り，組み立てる前の部品でちょっと遊んでみよう．クリスタルイヤホン（セラミックイヤホン）を耳に装着し，伸びる電線の先にある金属部分をショートさせる．すると，カリカリと音が聞こえる．ここで，糸電話を知っている子どもは，

「線をこする振動がこの線を伝わって聞こえている」

などと誤解している可能性があるので，静電気が放電するときの電気の音を聞いていることを説明する必要がある．電線がたるんでいてもこの音は聞こえる．静電気が多い場合は，驚くほど大きな音がする．ここで，

「これを使って通信機はできるかな？」

など，子どもたちが自分で考えて楽しく遊ぶための質問をしてもよい．カリカリする回数と意味の対応表を作れば，通信できる．モールス符号の話をしてもよい．実際にカリカリ通信で遊ぶのも楽しい．話がゲルマラジオからわき道にそれるが，道草が遊びの本道である．

ここで，電気の振動がイヤホンの振動になり，空気の振動（音）になることを示すことができる．また，オシロスコープがあれば，入力にクリスタルイヤホンをつないで，音が電気になることを説明できる．この段階で，同じ波形で変化する電流と音の変換を理解すれば，後は，電流と電波の変換を追加説明することで，ラジオの原理を説明できる．音と同じ変化をする電波から，同様に変化する電圧や電流を取り出せることを言えばよい．

以上のように，クリスタルイヤホンの雑音に驚いてもらうだけで，いろいろな話題を持ち出すことができる．

- 電気を音に変換：イヤホン
- 音を電気に変換：マイクロホン
- 音と同じ形で変化する電気や電波：アナログ
- 静電気放電：静電気，電圧，電流，放電
- 送信者と受信者の約束事：符号

5 さて作ってみよう

失敗を必要以上に怖がる子どもたちは意外に多い．リラックスさせ，挑戦する心を後押ししてあげたい．人々の代わりに挑戦し失敗も含めて分かったことを報告するのが研究者の本業であると，説明する機会でもある．

製作前に少なくとも次の事項は理解させる必要がある．

- 安全な作業手順：道具の使い方，体の保護
- 部品を壊さない方法：リード加工，温度管理
- 効率的な作業方法：整理整頓，電線はリール巻

作業は，大まかに次の手順となる．

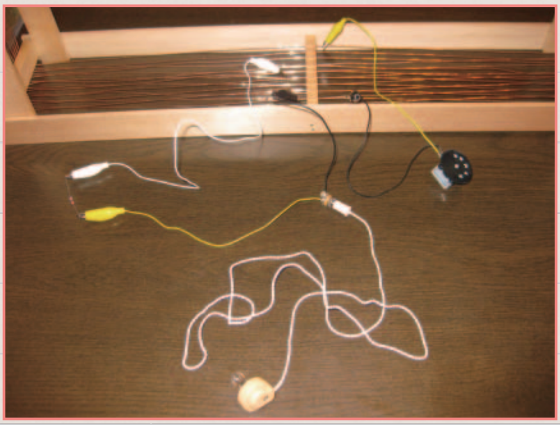
- 機構の製作（コイルの枠やケースを作る場合）
- コイルの電線巻き（コイルを作る場合約 30 分）
- その他部品の配線（数分～約 30 分）

ケースの加工や製作するコイルの種類に応じて作業時間が大きく変化する．こり始めるときりがない．配線は，約 30 分のはんだ付け，クリップを用いるバラック配線なら数分（娘は「簡単すぎ！」と言った）で完成する．

安全上の心配や子どもの好みの問題ではんだ付け作業に困難があるなら，こだわる必要はない．AM ラジオは約 1 MHz の信号を扱うが，はんだ付けをしなくても短めのシールドクリップ（ミノムシクリップ）付電線で配線できる（図 4）．シールドクリップやターミナルを使い，部品の端子をまとめて挟むだけでも十分動作する．

工作教室では，はんだ付けをやってみたい班とそうでない班を分ける方法もある．航空宇宙級のはんだ付け技能を目指すのも，ラジオ作りの手段であって目的ではないと割り切るのも，選択肢である．はんだ付けも，温度や金属表面状態の管理さえ覚えれば，すぐに上達する．子どもが楽しめることを一番に考えたい．白状しよう，私の娘は，はんだ付けの松ヤニの臭いが苦手である．

▲図 3　シールドクリップ，ターミナルなど（ホームセンターに売られていた物）


▲図 4　クリップ付電線で配線したゲルマラジオの例．1 MHz は怖くない＝こんな配線でも音は聞こえる

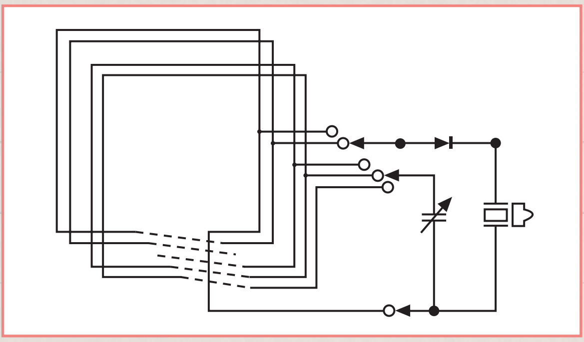
必須の工具はラジオペンチ，はんだ付けをするなら，はんだごて，はんだ，はんだごて台などを追加する．温度調節器があれば作業も円滑である．雑巾などではんだごての先にできる酸化膜を除去できると失敗も少ない．

ダイオードの配線作業の前に，子どもに注意することがある．ラジオペンチでリード線を曲げるとき，ダイオードが付いていない方を曲げよう．そうしないと，ダイオードのリード引出し口を損傷する場合もある．また，はんだ付けするときも，ダイオードとはんだごてを当てる場所の間のリード線をラジオペンチなどで挟み，ダイオードの温度上昇を抑えよう．半導体は，高温で壊れる．

作業する机の上は整理整頓．工具や材料の配置を安全で作業しやすくする手段を子どもに考えさせるのも，工夫する頭を鍛えてくれる．意外に失敗が多いのは，コイル作りである．電線が筆記体小文字のエル形になったら，危険信号．そのまま電線を引っ張ると，更に小さく固くなったエルがいろいろなところに引っ掛かり，電線がもつれてしまう．固くなったエルを真っすぐにしようとしたら金属疲労で電線が切れることもある．小文字のエルが見えたら，すぐにリールを回して電線を繰り出そう．

6 遊べるラジオの例

筆者の回路の例を図 5 に示す．屋外に持ち出していろいろな実験ができるように，大形ループアンテナを採用した．一辺が 60 cm ほどの四角形の木製枠に裸銅線を 5 mm 間隔で 16 回巻いた．ダイオードは 1N 60，ポリ



▲図 5　遊べるゲルマラジオの例

バリコンはたまたま入手できた最大容量約 260 pF のものである．

ダイオードやバリコンは，シールドクリップ付電線で配線している．こうすると，後日のいろいろな実験にて部品交換に対応しやすい．しかし，最大の理由は，遊びながらよく聞こえるタップを子どもに選択させることである．いろいろと試すと，音量や選択できる放送局の範囲など，聞こえ方が変わる．試して反応があれば，子どもは遊び始める．ここで結果を記録して見直せば，立派な実験である．

7 音が聞こえない？

配線が正しく部品が正常であると確認できても，音が聞こえない場合がある．ゲルマラジオの音は，子どもが予想するよりかなり小さいかもしれない．周りを静かにして，バリコンをゆっくり回して調整しよう．更に，ループアンテナなら，設置方向を変えてみよう．

もし鉄筋コンクリートの建物内なら，電波が弱すぎる可能性がある．ループアンテナを窓際に持って行くか，外に持ち出して使うことをお勧めする．また，アースやアンテナを適切に接続できれば，更に大きな音になる．

8 無線工学に御案内

第一作の完成直後が，子どもにとって最も大切な時期であると筆者は考えている．楽しかっただけの思い出で終わるか興味を持って次に進むかが決まる場合もある．

このときに子どもに示すヒントにも，次のような例がある．参考書を同時に示した後で，子どもが自分で調整や改造をしながら遊び始めたらしめたもの．

- 音を大きくしたいね／混信が減らないかな
- いろいろなコイルがあるね／聞こえ方は変わるかな
- 他の部品を作れるかな
- どんなアンテナがあるかな

- AM 放送以外の電波を受信したいね
- 電波の強さをメータ（テスタ）で見たいね

ゲルマラジオは，単純であるが故に回路も部品も工夫の余地が多くある．コイルも，Q やストレーキャパシティの改善を考え始めると奥が深い．キャパシタとバリミューを使う同調回路もある．バリコンなど，コイル以外の部品の自作例もある．これらは，電磁気学の入口である．また，鉱石検波器の製作に挑戦した事例も多くの本やウェブサイトに見られる．物性物理学の入口である．

AM 放送がディジタル化されても，ゲルマラジオを使って子どもと遊べそうな無線工学入門実験がある．

- 火花放電送信機を用いる電波伝搬実験
- ループアンテナを用いる方位探知実験

▲図 6　「不思議，こんなものでも聞こえる！」
娘は早速クリップでいろいろと遊び始めた

9 む す び

せっかく作ったゲルマラジオである．これをいろいろと使って遊ぶ工作や実験を，順次紹介していく予定である．本稿が実験を楽しめる子どもを増やし，更に 10 年後の理工系に進んでくれたなら望外の喜びである．

小瀬木　滋（正員）

昭 56-03 電通大・電気通信・応用電子卒，昭 58-03 同大大学院（修士）電気通信学研究科了．同年 04，運輸省電子航法研究所勤務，平 2-12 オハイオ州立大客員研究員，平 3-12 運輸省電子航法研究所，平 13-04 独立行政法人電子航法研究所，現在は機上等技術領域上席研究員．第一級陸上無線技術士．

通信ソサイエティからのお知らせ

第6回 通信ソサイエティ論文賞
～受賞論文と総評～

通信ソサイエティ編集会議

1. はじめに

通信ソサイエティでは，第6回目となる通信ソサイエティ論文賞の選定を行い，11編の論文を選定した．本稿では，今年度（2009年10月～2010年9月）の受賞論文と総評を，和文論文誌，英文論文誌，和文マガジンの順に述べる．

2. 和文論文誌

選考は，1）候補論文推薦，2）予備投票，3）審査査読，4）候補論文絞込み（審議），5）候補論文選定（投票），6）受賞論文決定（編集委員会）の段階を踏む．結果として，本年度は以下の4編を受賞論文として選定した．

本年度の和文の受賞論文は，本部論文賞も含めて，システム開発・ソフトウェア開発論文及びシステム開発系の論文がほとんどである．和文論文誌編集委員会では，2008年から開発系論文の認知，投稿数増を図るため，システム開発・ソフトウェア開発論文特集号を企画してきており，その効果でもあると考えている．

受賞論文は，内容が整理されており論旨の展開が分かりやすく，論文の要である新規性，有効性，信頼性も明解に記述されている．良い論文を読むことは，技術的理解を深めるだけではなく，良い論文を書くことへもつながる．自ら読むだけではなく，是非周りの方々へも御推薦頂きたい．

なお，和文論文誌では2000年以降の各受賞論文を下記URLから無償で閲覧できる．御活用頂きたい．

http://www.ieice.org/cs/jpn/JB/best.htm

■ 優秀論文賞

「SBAS信号を使用するGBASの開発について」
齋藤享，藤井直樹　Vol. J93-B, No.7, pp.947-954

受賞理由：本論文は，システム開発・ソフトウェア開発論文である．従来の地上から電波を放射し航空機を誘導する着陸システムの代わりに，GPS衛星などの航法衛星の情報とMTSAT等の静止衛星の補強信号を併用した航法システムの開発について述べられている．二つの衛星システムを併用して，GPS衛星の故障時の精度劣化などの問題について，実際に空港にて受信したデータを用いてシミュレーションを行い，有効性を確認している．本論文は，人の生命に関わる重要なシステムを取り扱った論文であり，航法システムの高精度化，信頼性向上など，航空産業への貢献度が高く，今後実用化されることが期待される．

「長波標準電波の伝搬実験と電界強度計算法の開発」
野崎憲朗，土屋茂，今村國康，前野英生，長浜則夫
梅津正道，若井登　Vol. J92-B, No. 12, pp.1832-1843

受賞理由：本論文は，長波電波の電界強度予測式を提案している．国内のみならず南極を含む太平洋上の船上において2年間にわたりデータを取得し，有効性の高い伝搬モデルを構築している．本論文で示されたデータは，貴重な上，資料的価値も高い．また，その結果の一部はITU-R勧告の改訂にも反映されており，長波伝搬に関する研究に大きく貢献している．

「ニッケル水素蓄電池を用いた屋外電源システム」
北野利一，宮坂明宏，山下明，正代尊久
Vol. J92-B, No. 10, pp. 1696-1707

受賞理由：本論文は，システム開発・ソフトウェア開発論文である．災害や事故発生時の屋外用バックアップ電源を想定したニッケル水素蓄電池の改良と，それを搭載した屋外電源システムの開発に関する論文である．従来は，鉛蓄電池が用いられていたが，エネルギー密度と信頼性，コストを考慮して，長寿命かつ大容量のニッケル水素電池セルを開発している．実用化に必要な基本特性を，セルレベル，システムレベルの双方から実験で評価し，良好な充放電特性や温度特性が得られており，今後の通信電源システムの新しい標準となり得るものと考えられる．

■ チュートリアル論文賞

「ダイナミックで帯域スケーラブルな光ネットワークアーキテクチャとその実現技術」
神野正彦，高良秀彦，バルトロメルコシッツキ
Vol. J93-B, No. 3, pp. 403-411

受賞理由：本論文は，招待論文である．現在，研究開発や標準化が進む 100 Gbit/s 級の光ネットワーク技術について紹介し，将来のポスト 100 Gbit/s の実現技術としての光ネットワークアーキテクチャや光ノード技術について提案を体系的に議論している．アーキテクチャの候補として，著者らの提案する SLICE について紹介されている．これは従来のシステムにとらわれない発想であり，光伝送部分だけではなく電気処理部分のアーキテクチャなど，ネットワーク全体への波及効果もある．本論文は，産業，学術界に研究課題の指針を投げかけている点でも意義は大きい．

3. 英文論文誌

本年度は，論文賞選定委員会を組織して選考にあたった．選考の手順は以下のとおりである．まず推薦論文に対して，査読時の評価によって受賞予定数の 3 倍程度の候補論文を絞り込んだ．その後，第一次審査，第二次審査の二段階で候補論文の評価を行った．評価では，全ての選定委員が全候補論文を読んで内容を把握した上で実施し，選定委員が内容を理解した上で活発に議論できるように配慮した点が特徴である．選定委員会の議論の後で投票により受賞論文案を選定し，編集委員会で決定した．

本年度の英文の受賞論文は，本部論文賞を含めて論文が 6 件，レターが 2 件であり，残念ながら Best Tutorial Paper Award は該当なしとなった．良いチュートリアル論文は国内外から多くの引用が期待でき，論文誌の存在感向上に寄与すると考えられるので，受賞に価する良いチュートリアル論文が掲載できるよう，引き続き投稿を呼びかけていきたい．

受賞論文は，受賞理由から分かるように，それぞれに特徴があり，新規性，有効性などがバランス良く評価されたお手本になる論文や，一部の項目が高い評価を得た示唆に富む論文を含む．是非目を通して頂き，研究・開発・教育等にお役立て頂きたい．

なお，英文論文誌では 2000 年以降の各受賞論文を無償で公開している．下記 URL から「英文論文誌」の「無償公開論文」を御確認頂き，御活用頂きたい．

http://www.ieice.org/cs/jpn/

Best Paper Award

“Adaptive Power Saving Mechanism for 10 Gigabit Class PON Systems”

Ryogo KUBO, Jun-ichi KANI, Yukihiro FUJIMOTO, Naoto YOSHIMOTO, and Kiyomi KUMOZAKI

Vol. E93-B, No 2, pp.280-288, Feb. 2010.

受賞理由：本論文は，10 Gbit/s イーサネット PON 標準をベースにした 10 Gbit/s 級 PON において，スリープ期間を可変にすることによる省電力機能を提案し，プロトコル設計を実施，更に省電力性能，犠牲となる遅延性能について評価した論文である．平均遅延は，スリープ最大期間の半分程度に抑えられることを示している．議論の進め方が分かりやすく，プロトコル設計も標準システムをベースにしており，産業界への導入に結びつきやすい形にまとめられている．また，アクセス系の省電力化はネットワーク全体の省電力化に効果的に寄与するため，産業的価値の高い技術であると判断した．

“Antenna Array Calibration Based on Frequency Selection in OFDMA/TDD Systems”

Yoshitaka HARA, Yasuhiro YANO, and Hiroshi KUBO

Vol. E92-B, No. 10, pp.3195-3205, Oct. 2009.

受賞理由：本論文は，OFDM/TDD 方式に適したアンテナキャリブレーション方式について，システム稼働時のキャリブレーションを可能とするためのフェージングチャネルにおける精度向上法を提案した論文である．この技術により，無線端末を複雑にすることなく MIMO 技術による通信の高速化を達成させるものであり，有効性の観点から高く評価できる．また，周波数軸上での内挿法など斬新な技術が提案されており，アンテナキャリブレーション方式の研究にも大きな貢献をしていると判断した．

“Plane-Wave and Vector-Rotation Approximation Technique for Reducing Computational Complexity to Simulate MIMO Propagation Channel Using Ray-Tracing”

Wataru YAMADA, Naoki KITA, Takatoshi SUGIYAMA, and Toshio NOJIMA

Vol. E92-B, No. 12, pp. 3850-3860, Dec. 2009.

受賞理由：本論文は，MIMO チャネルの伝搬特性をレイトレーシングで計算する際の，アンテナ本数が多いことによる計算負荷の増大を軽減するための技術の提案である．アンテナアレーの重心間のみの反射パスを求め，各素子については幾何学的に求められるベクトルを回転させることで近似解を得る手法を提案している．レイトレーシングと比較し，十分な精度を少ない計算負荷で実現できることを示しており，幾何学的な考察により新規性の高い技術であり，計算量の際立った削減効果は十分な有効性を示していると判断した．

“Marginalized Particle Filter for Blind Signal Detection with Analog Imperfections”

Yuki YOSHIDA, Kazunori HAYASHI, Hideaki SAKAI, and Wladimir BOCQUET

Vol. E93-B, No. 2, pp. 336-344, Feb. 2010.

受賞理由：本論文は，アナログ回路の不完全性，例えば，周波数

オフセットや直交検波器の利得バランス比，直交性の崩れ等に起因する劣化を補償するブラインド形の信号検出機を提案している．提案法は，Marginal particle filter という事後確率を算出するフィルタをベースとし，それに Widely linear フィルタの考え方を導入することで，上記の問題の解決を図っている．新規性に優れた論文であり，同分野の研究に与えるインパクトが高いと判断した．

■ Best Letter Award

"Interoperability Experiment of VLAN Tag Swapped Ethernet and Transmitting High Definition Video through the Layer-2 LSP between Japan and Belgium"
Sho SHIMIZU, Wouter TAVERNIER, Kou KIKUTA, Masahiro NISHIDA, Daisuke ISHII, Satoru OKAMOTO, Didier COLLE, Mario PICKAVET, Piet DEMEESTER, and Naoaki YAMANAKA
Vol. E93, No. 3, pp. 736-740, March 2010.

受賞理由：本レターは，国際連携の実験により日本とベルギーの間で VLAN のシグナリングを行い，L2 のネットワークの構築に成功した実験の報告である．技術的に特に目新しい技術が導入されているわけではないが，国際的な研究開発ネットワークにて，自動的な VLAN 設定を実現したことは実用上大きな意味があり，レターとしてのアピール性が高いと判断した．

"A Throughput-Aimed MAC Protocol with QoS Provision for Cognitive Ad Hoc Networks"
Yichen WANG, Pinyi REN, and Guangen WU
Vol. E93-B, No. 6, pp.1426-1429, Jun 2010.

受賞理由：本レターは，コグニティブアドホックネットワークにおいて，ACK とデータパケットを保護し，マルチチャネル隠れ端末やマルチチャネルさらされ端末問題を解決するための新たな MAC プロトコル（T-MAC）を提案している．提案システムをその動作原理からマルチチャネル隠れ端末やマルチチャネルさらされ端末問題を解決しており，更にシミュレーションにて従来手法と比べ性能が向上していることを示している．多くのオーバヘッドが必要なようにも思われるが基本的には面白い技術であり，レターとしてのアピール性が高いと判断した．

■ Best Tutorial Paper Award

該当なし．

4. 和文マガジン

和文マガジンは，その主な読者層として，現場の技術者や学生などを主なターゲットとしている．そこで，和文や英文の論文誌とは異なる論文賞選定基準である，次の 3 点を重視した選定を行った．

（ア）有効性（読者に有益な情報を与えたか）
（イ）読みやすさ（了解性；大学卒程度の知識で理解が容易か）
（ウ）分かりやすさ（難易度；専門でないソサイエティ会員の理解が容易か）

和文マガジンからの論文賞対象論文選考は，第 11 号（2009 年 12 月号）～第 14 号（2010 年 9 月号）に掲載された全解説論文を対象として，二段階にわたる審査査読を経て，最終的には編集委員会における投票により，受賞論文を決定した．編集委員会での決選投票では，上位 2 編の獲得票数は僅かに 1 票差の激戦となり，僅差により下記の受賞論文が決定されたが，今回残念ながら選に漏れた中にも優秀な論文がマガジンには多く掲載されているので，是非このたびの受賞論文と併せて，御覧頂きたい．なお，マガジン記事の一部は，下記の URL で公開中である．

http://www.ieice.org/cs/jpn/pub/magazine/

■ 受賞論文

「MIMO による超高速化」
小川恭孝，大鐘武雄，西村寿彦
2009 年冬号（No. 11），pp. 32-38

受賞理由：多くの読者が興味を持つ MIMO 技術について平易に解説されており，分野外の人にも非常に理解しやすい内容となっている解説論文である．MIMO の基本原理の説明は一般に数学的であり，ともすれば非常に難解になってしまう．これに対して本論文では，僅かに示された数式さえも概念を示すツールとして使われており，イメージ的な理解に大変役立つものとなっている．また，「達成し得る伝送速度」という具体的な数字を，効果的に，ある意味マジックのように使うことにより，MIMO が持つ魅力を十分に示すことに成功している．また，このような若手に優しい内容に加えて，実環境での測定結果や実装上の課題を示すなど，初心者のみならず実際に MIMO を利用する技術者にとっても有効な内容となっており，マガジンに掲載するにふさわしい解説論文である．以上の理由により，本論文を論文賞として選定した．

デジタル放送の研究開発と海外普及に賭けて

早稲田大学客員教授
山田　宰
Osamu Yamada

はじめに

1944年東京の板橋区下赤塚の生まれで，早稲田大学理工学部電気工学科を1967年に卒業し研究業務を志望してNHKに入社した．4年間NHK青森放送局で放送現場業務を経験した後，1971年から2002年にNHKを退職するまで一貫してデジタル放送の研究開発に従事し，微力ながら日本のデジタル放送実現に寄与してきた．メーカでの製品開発と異なり，新しい放送メディアの研究開発は時間が掛かり，多くの協力者が必要で，実施されている放送メディアの数はそれほど多くはない．急速に進展する技術革新の中で，デジタル放送技術の萌芽の時代から今日のデジタル放送隆盛の時代まで先導的な役割を果たせたことは無上の喜びである［1］（図1，表1）．

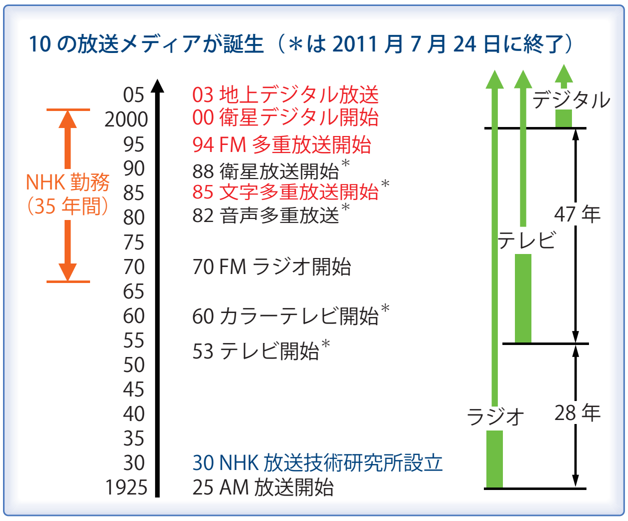


図1　放送メディアの誕生

2002年にNHKを退職しパイオニア株式会社に入社し2007年に特別技術顧問に至るまでの5年間は研究開発現場の改革に携わってきた．本稿では，NHK放送技術研究所（以降技研と記す）での研究開発者としての歴史をひもとき，若い人たちへ何らかの指針を与えることができればとの思いで執筆することをお引き受けした．

劣等生で自信が持てなかったNHK新人時代（1967～71年）

大学時代は，放送とほとんど関係のない自動制御に興味を持ち，卒業論文のテーマは「プロセス制御における静特性の測定法」だった．卒業の1967年は，今と同じような経済不況のため，希望していたメーカからの募集がなく，たまたま全く専門外のNHKの試験を受け就職することになった．NHKでの最初の勤務地はNHK青森放送局で4年間，現地の先輩たちに放送技術の基礎について手取り足取り教えて頂いたことが，人脈を含めてその後の貴重な私にとっての財産になっている．当時，放送局の技術者はほとんどが高卒で，皆非常に優秀だった．大卒でありながら現場では何もできない自分自身に劣等感さえ持つようになった．振り

© 電子情報通信学会 2011

表 1　関係した主な研究テーマ

年代	テーマ	研究開始時の状況	実用化	海外展開
1971 ～ 1977	静止画放送の送受信フレームメモリをテーマとして与えられた	研究所の方針として，衛星放送，高精細度放送，多情報放送を目指すことが定められた．静止画放送は多情報放送の一つ	研究のみで終了，衛星でチャネル数が取れるようになった，静止画の表現に限度などが理由	仲間が中国電影電視総局に働きかけたが，実験のみで中止
1977 ～ 1985	技研の方針としてコードによる TV 多重文字放送研究開始，誤り訂正方式の研究を志願	世界的な文字多重放送のブームの中で技研も研究を開始	日本で実用化	メーカと共同で，中国での伝送実験を実施し好結果を得たが中国は文字放送を実用化せず
1985 ～ 1987	技研の方針として EDTV の性能評価	HDTV 以外の方式として世界的に話題にのぼった	評価した結果，実用化にならず	
1986 ～ 1996	民放提案の固定受信用 FM 多重放送技研は移動受信用 FM 多重放送を提案	誤り訂正方式により，EBU 提案 RDS より良いものができることを確信	移動用 VICS で実用化	移動用を米国 DDJ 社へ技術協力したが事業化ならず．移動用中国で実用化
1986 ～ 2003	移動・携帯受信を目指した地上デジタル放送の研究提案	EBU 提案の DAB を調査中に OFDM を地上デジタル放送用に提案	日本で開始	南米その他の国へ普及
1988 ～ 1993	メーカからの技術協力依頼で光カードシステム開発，規格化に参加	国際規格化の議論が進展中	ISO--- として国際規格化．米国のグリーンカードその他で実用化	米国その他
1991 ～ 2000	BS デジタル放送の提案	危機管理としての研究取組み	日本で開始	日本だけが HDTV だったため，外国は興味を示さず
1994 ～ 1996	マラソン中継用デジタル中継装置の提案	地上デジタル放送の実用化が見えなかったので，同じ技術をマラソン中継装置へ	若手が世界で初めて，1996 年びわ湖マラソンで実証，その後ワイヤレスカメラも採用	メーカがスウェーデンへ貸出し
2000 ～	スーパハイビジョンの提案	技研は常に最高級画像処理技術に挑戦すべき	？	BBC，RAI 等欧州研究機関と連携

返ってみると，このときの“仕事は紙や鉛筆ではなく身体で覚えるものだ”との自覚が，その後の研究開発者としての生き方の基礎になっていた感じがする．

現場の仕事にできるだけ早く慣れ，一人前に仕事ができるよう，カメラ，マスタモニタ，VTR，テレシネ，フライイングスポット，同期信号発生器，運行装置などの取扱説明書の予備を家に持ち帰り徹底的に勉強をした．その中で，同期信号発生器に特に興味を持ち，同期結合（ゲンロック）がなぜ瞬時にできず数秒の時間が掛かるのか疑問を持ち検討した結果，簡単な回路を付加するだけで瞬時に同期結合可能なことが分かり回路を試作し，その効果を確認することができた．青森放送局だけが，カラー化による主調機器の更新時期まで，この同期結合装置を使うことになった（図 2）．その結果を NHK 内の全国技術報告会で報告したところ優秀賞に選ばれ，大学での専門分野と全く異なった NHK へ入ったことや，現場で仕事ができない自分自身への劣等感が少しは払拭した感じを持った．特許を提出したが，数か月の差で某メーカに先を越された．また，放送技術の基礎から勉強し，当時の「一級無線技術士」の資格を取れたことも少しは自信につながった．

図 2　瞬時同期結合回路

研究業務に就くことが学生時代からの夢だったため，毎年書く自己申告書には次の希望転勤先として技研とし，理由は“到底不可能と思える研究に挑戦したい”だった．

技研への転勤と静止画放送 (1971 ～ 77 年)

1971 年に希望がかない技研の「新放送方式研究班」に転勤になった．当時技研は，将来の研究テーマ［2］として二つの柱「情報の濃密化」と「情報の多様化」に決定した直後であり，「新放送方式研究班」は「情報の多様化」を担当するグループで，「静止画放送」のメンバとして配属になった．当時から NHK を退職するまで，筆者が関係してきた研究テーマの流れを図 3 に示す．「静止画放送」は，毎フレーム異なった静止画を提示し，受信側にワンフレームメモリを持つことにより，1チャネルで数十の教育番組などの静止画からなる「静止画放送」［4］を実現しようとするものだった．送出側の静止画ファイルと受信機側のワンフレームメモリが担当で，「静止画放送」そのものは実現しなかったが，その間ディジタル回路やアナログ回路の設計，出始めのワンチップ CPU（Central Processing Unit）などの扱い，ソフトウェア開発等々を学んだことが，次の研究への地固めになった．

しかし，昼休みに趣味の野球に熱中していて印象が悪かったためか，同期の中でも昇進は最悪で，NHK を辞めようと悩んだ時期もあった．

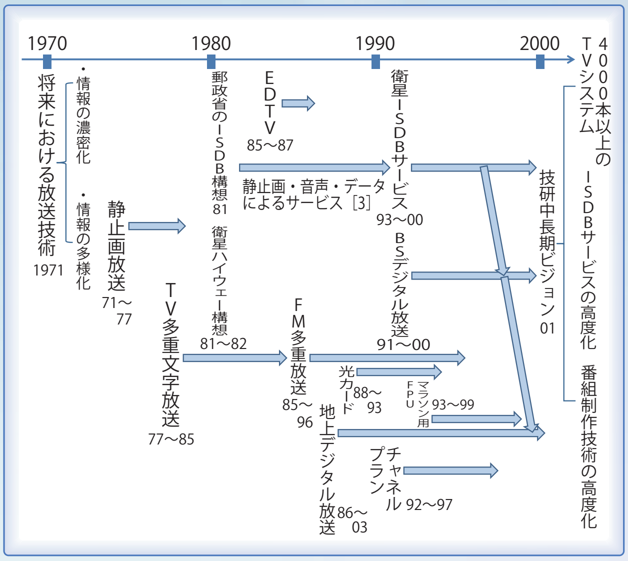


図 3　関連してきた研究テーマの流れ

TV 多重文字放送（1977 ～ 85 年）

若い研究者にとって輪講は，自身の能力向上のためには必須の要件であろう．1973 年頃から同じグループの先輩の提案で仲間たちと「Error Correcting Codes」by Peterson & Weldon［5］を教材に輪講を始めた．当時は，今と違い誤り訂正の日本語の本はほとんどなく，筆者自身もこの本が将来何に役立つかも分からないまま，ただ単に，数学的に面白いだけで［6］，毎週 1 回の輪講の準備に数時間費やして，メンバの幹事役を果たしてきた．こんなのは勉強しても意味がないと半数の者は途中で辞めていった．

1977 年 テレビ（以下 TV）信号のブランキング期間に文字コード信号を多重する TV 多重文字放送の研究を担当することになった［7］．輪講の幹事役のこともあり，自分から申し出て，これまで技研が経験したことのない分野である誤り訂正方式の研究開発担当になった．この時点で，アイデアがあったわけではなく，“自分がやらなければ” の思いが強く，今にして思えば，怖いもの知らずであった．

まず実際の地上放送波でのディジタル伝送では，どのような状況になっているのかの分析から始めた．東京都内，大阪市内でのゴースト妨害や，工場，送電線などからの雑音，和歌山県と兵庫県での 7 段に及ぶ多段中継の影響などを調べるため，TV 信号のブランキング機関にランダムパターンを送信し，受信側でビット誤りパターンの収集を行った（図 4）．収録したデータはフロッピーディスク数百枚に及んだ．

図 4　野外実験風景
（木箱はフロッピーディスク記録装置の防じん用）

誤りデータの分析結果から，当時のハードウェアで実現可能な BCH（Bose, Chandhuri, Hocquenghem）符号やバースト誤り用短縮巡回符号などでは到底不可能なエラーがほとんどで，とんでもなく難しい伝送路だということが判明した．毎日データ分析結果とのにらめっこでの悩みが続いた．1982 年 11 月のある日，例のように家でブロック長ごとの誤りパターンの分析結果を調べていた折，ブロック長がパケットと同じ 272bit の場合ほとんどの測定点でのデータが，8bit 以下の誤りデータであることに気が付いた．輪講で勉強していた誤り訂正符号の中に符号の種類は少ないが，簡単な回路で訂正できる J. Massey の Majority Logic Error Correcting Codes があることを思い出した．そしてその中の 8 ビット誤り訂正可能な E. Weldon 氏の差集合巡回符号の（273, 191）符号［5］を 1 bit 短縮化して（272, 190）とすれば，野外実験で収集したほとんどの誤りが訂正できることが分かった．実際の回路がどうなるのか，検討しているうちに夜は白々明け，朝方の 5 時を過ぎていた．悩み続けていた誤り訂正の方式のめどが立ったそのときの喜びは，今でも忘れることができない．青森局での同期結合に続く独自の成果に，研究者として，もしかすると独り立ちできるのではないかと，わずかな自信を持つことができた．と同時に，悩みに悩み抜けば，必ず解決策は湧いてくるとの感を強く持った．

その後復号のアルゴリズムを改良し実質 11 bit まで訂正可能な誤り訂正方式とした．図 5 に示すゴースト妨害下においても文字信号は完全に受信できた．誤り訂正技術確立まで 5 年の歳月を要した．TV 多重文字放送は，多重放送ではあるが初めてのデジタル放送

図 5 ゴースト妨害下での（272，190）符号のサービス限界

サービスとして，1985 年から実用化になった［6］．

この（272，190）符号の実用化は，IEEE Communication Society の論文誌［9］に掲載され，当時東京大学の羽鳥教授や横浜国立大学の今井教授らから評価を受けドクター［6］を頂くことができた．（272，190）符号は，その後の FM 多重放送，米国グリーンカードに採用されている光カード用の誤り訂正（ISO/IEC11693）［10］，地上デジタル放送にも採用されている．TV 多重文字放送の研究開発により，学んだ主な事項は以下のとおりである．

（1）研究者にとって，基礎から勉強する輪講は必須である．

（2）LSI（Large Scale Integration）の急速な進歩により，理論的に分かっていても実現できなかったことが可能になり，理論的バックグラウンドが，より重要になってきた．

（3）地上波でのディジタル伝送は，ランダム雑音には強いがゴースト妨害や波形ひずみには極端に弱い．また，多段中継では群遅延が生じ 3 段ごとに等化器が必要である．

（4）文字放送の移動受信は不可能である．

FM 多重放送（1985 ～ 96 年）

FM 多重放送は，（L+R），パイロット信号，（L-R）変調信号からなるステレオベースバンド信号に新たに信号を付加して，表番組とは全く違ったサービスを実現しようとするものである．米国では 1950 年代からバックグラウンドミュージックとして SCA[1]（Subsidiary Communications Authorization）と呼ぶアナログの FM 多重放送が実用化になっていた．欧州では 1978 年からポケットベル用 PI[2]（Public Information）［11］を 1983 年から車載用 RDS[3]（Radio Data Service）［12］を実用化していた．

RDS は情報ビットレートが 0.7 kbit/s で，誤り訂正符号は 5 bit バースト誤り訂正能力を持つ（26, 16）短縮巡回符号を使用していた．26 bit の中で 5 bit のバースト誤りが訂正できれば訂正能力としては十分のように感じられるが，先の文字放送での実際の誤りパターンによるシミュレーションではあまり効果がないことが分かっていた．文字放送で実用化した（272, 190）符号を用いれば，伝送ビットレートも上がり格段に性能がアップするとの確信があった．

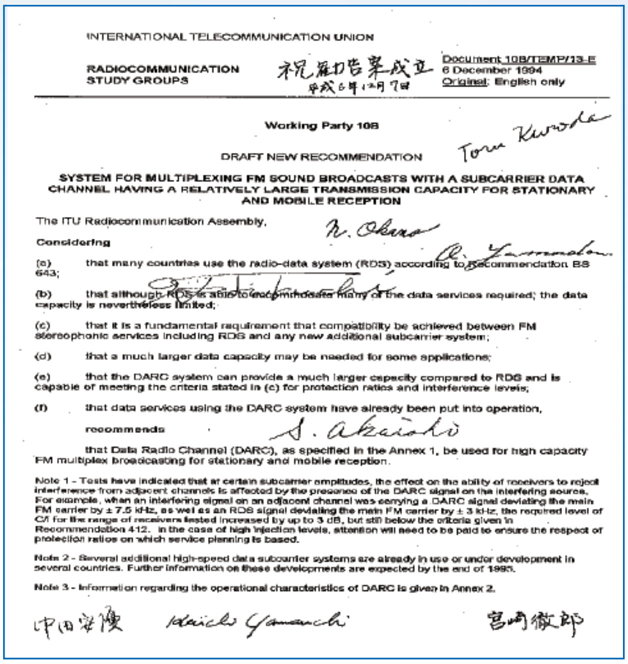
1985 年以前，NHK は FM 多重放送を実施する予定はなく，CCIR[4]（International Radio Consultative Committee）会合において EBU[5]（European Broadcasting Union）が開発した RDS の勧告化に対し特に反対しないことを表明していた．しかし，1985 年の CCIR 会合において EBU から RDS が勧告案として提案されたことを知り，ジュネーブに出張中の先輩担当者に，RDS のみの勧告にならないよう急遽お願いした．その結果，出張者たちの努力により，RDS が唯一ではないことを意味する「ヨーロッパ以外の国々ではまだ研究中である」とのフットノートを付けることができた［13］．

1988 年に RDS の受信用 LSI を開発中のメーカから依頼を受けドイツでの伝送実験に参加し，RDS の大まかな移動受信特性を把握することができた．案の定，RDS は移動受信では，安定に受信できないことを実体験することができた．したがって，RDS では，文章のようなメッセージではなく，同じ信号をコマンドとして繰り返し送信する方式を取っている．

一方，日本国内では警察庁がテレターミナルを使用した交通情報サービスを検討するなど，増大する交通渋滞への対処が問題になっていた．CCIR において RDS に公式に反対したこともあり，車向けに大容量で確実に情報を伝送することができる我が国独自の（272, 190）符号をベースにした，FM 多重放送の研究開発を，同僚たちと推進させた．移動受信の難しさ，FM 伝送路の非線形性など非常に難しい伝送路だったが，（272, 190）符号と若手研究者が開発した LMSK[6]（Level Controlled MSK）変調方式により RDS に比べると 10 倍以上の約 8 kbit/s の伝送容量を持ち確実に情

報を伝送できる方式を確立させることができた［14］．

日本の FM 多重放送は，1994 年の ITU-R（International Telecommunication Union Radiocommunications）において当初は EBU の強い反対もあったが，協力関係にあったスウェーデンと WG 議長国フランスの協力を得て，何とか勧告化にこぎ着けることができた．我が国提案の初の単一勧告であった（図 6）．システム名は，スウェーデンの命名で DARC[7]（Data Radio Channel）と定めた．DARC は 1996 年から郵政省，建設省，警察庁によりスタートした交通情報サービス VICS の主メディアとして，カーナビゲーション（図 7）へ渋滞情報を提示することで，ドライバの渋滞路回避に寄与している．日本では VICS 受信機は既に 4,300 万台以上出荷の実績がある．また，北京，上海，広州などでも実用化になり，ブラジルでも実験が進められていると聞く．


INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION

RADIOCOMMUNICATION STUDY GROUPS

祝勧告案成立
平成6年12月7日

Document 10B/TEMP/13-E
6 December 1994
Original: English only

Working Party 10B

DRAFT NEW RECOMMENDATION

SYSTEM FOR MULTIPLEXING FM SOUND BROADCASTS WITH A SUBCARRIER DATA CHANNEL HAVING A RELATIVELY LARGE TRANSMISSION CAPACITY FOR STATIONARY AND MOBILE RECEPTION

The ITU Radiocommunication Assembly,

Considering

(a) that many countries use the radio-data system (RDS) according to Recommendation BS 643;

(b) that although RDS is able to accommodate many of the data services required; the data capacity is nevertheless limited;

(c) that it is a fundamental requirement that compatibility be achieved between FM stereophonic services including RDS and any new additional subcarrier system;

(d) that a much larger data capacity may be needed for some applications;

(e) that the DARC system can provide a much larger capacity compared to RDS and is capable of meeting the criteria stated in (c) for protection ratios and interference levels;

(f) that data services using the DARC system have already been put into operation,

recommends

that Data Radio Channel (DARC), as specified in the Annex 1, be used for high capacity FM multiplex broadcasting for stationary and mobile reception.

Note 1 – Tests have indicated that at certain subcarrier amplitudes, the effect on the ability of receivers to reject interference from adjacent channels is affected by the presence of the DARC signal on the interfering source. For example, when an interfering signal on an adjacent channel was carrying a DARC signal deviating the main FM carrier by ± 7.5 kHz, as well as an RDS signal deviating the main FM carrier by ± 3 kHz, the required level of C/I for the range of receivers tested increased by up to 3 dB, but still below the criteria given in Recommendation 412. In the case of high injection levels, attention will need to be paid to ensure the respect of protection ratios on which service planning is based.

Note 2 – Several additional high-speed data subcarrier systems are already in use or under development in several countries. Further information on these developments are expected by the end of 1995.

Note 3 – Information regarding the operational characteristics of DARC is given in Annex 2.

図 6　FM 多重放送の勧告案成立（1994 年 12 月 7 日）

図 7　カーナビへの応用（VICS）

FM 多重放送の研究開発で学んだ事項は以下のとおりである．

（1）ビジネスモデルが重要，交通情報サービスの需要があった．

（2）ゴースト妨害により，多重信号とステレオ信号の間でのクロストーク妨害が大きい．

（3）移動受信と固定受信では，受信条件の差から約 20 dB の差がある．

（4）移動受信では，フェージング，ドップラー，また無指向性アンテナによりゴースト妨害，インパルス雑音など様々な妨害を受ける．

BS デジタル放送（1991 ～ 2000 年）

BS デジタル放送の研究は，1991 年から開始した［15］．当時は衛星でのデジタル放送は，当分は実施しないことが国の方針として決められ，NHK の経営方針にもなっていた．1991 年から 1993 年にかけて，東京大学安田教授委員長の下，郵政省で審議された「衛星放送の長期ビジョンに関する研究会」の報告においても，デジタル放送の実施については触れていない．筆者自身は，技研デジタル放送研究部長という難しい立場であったが，副委員長に指名され参加した．

BS デジタル放送は実施しないと決められていたが，技研としては下記の点からどうしても研究課題として取り組む必要があると考えていた．

（1）BS で最大どの程度の伝送容量が取れるのか世界的にも研究がなされていない［16］．

（2）当時はハイビジョンのディジタル圧縮には 40 Mbit/s 必要とされていたが，ディジタル画像圧縮技術の進展によっては更に改善されることが予想された．

（3）日本は放送局の数と我が国に割り当てられている BS チャネル数を考慮すると 1 中継器で 2 番組のハイビジョンを伝送しなければならない．

1991 年にデジタル放送方式研究部長に就任して最初の仕事が，上司を説得し，世の中の流れに反する BS デジタル放送を正式に研究テーマとして認めてもらうことだった．経営とは切り離した研究として，110 度以外の軌道を使うなどの理由を並べ，あまり表だって言えないテーマとして研究をスタートさせた．

若手研究者に担当を依頼し，27 MHz の帯域制限の中で，ある程度のバックオフを取らなければならない衛星用中継器の特性とサービス時間率を考慮しながら，最大限伝送容量が取れるよう，携帯電話用に開発されていた狭帯域変調方式など種々の変調方式についてシミュレーションにより評価した．最終的には 8 相トレリス符号化変調方式が最も有利であることを求めた[17]，[18]．これは，BS デジタルハイビジョン放送は，標準的に使われていた QPSK（Quadrature Phase Shift Keying）では実現不可能で，多値変調でない限り実現できないとの当時の羽鳥光俊東大教授の見解に合致するものであった［19］．アナログ FM と異なり，帯域幅を本来の 27 MHz から 34.5 MHz に広げても混信保護比は問題ないことを確認し，降雨による電波の減衰にも対応できる階層伝送方式を取り入れた，1 中継器で 2 ハイビジョン放送可能な世界最大の 1 中継器当り 52 Mbit/s の伝送容量を持つ ISDB-S [8]（Integral Services Digital Broadcasting-Satellite）を開発した．

実際の BS デジタル放送は，紆余曲折の結果，担当者たちの研究成果を基に，多くの関係者の努力により 1997 年に電通技審諮問，1998 年答申と超スピードでデジタル放送の方式が決まり，2000 年 12 月にサービスを開始させることができた．各社経営陣からは，1991 年から研究を開始していたが知られていなかったため，こんなに早く放送方式ができるのかと驚きの声が聞こえてきた．世の中と反対方向の研究が成果として花開き，世界で最初に BS デジタルハイビジョン放送が開始できたことは，研究担当者たち全員の大きな喜びである一方で，研究の進め方の難しさを実感した次第である．恐らく，周りとの衝突を避けた，世の中の全体の流れに沿った研究では，2000 年からの BS ハイビジョンのサービスは存在し得なかったであろう．

地上デジタル放送（1986 ～ 2000 年）

TV のディジタル化に当たっては，アナログ TV ができることは，全てディジタル TV でも可能でなければならないと考えていた．すなわち，移動受信が可能なこと，TV の音声はディジタルラジオでも聞くことができることをシステムの必須条件と定めた．1986 年以前に，移動受信に強い変調方式として SS [9]（Spread Spectrum）［20］について検討したが，ビットレートが取れないことが分かっていた．その後，欧州の DAB [10]（Digital Audio Broadcast）に採用されていた OFDM [11]（Orthogonal Frequency Division Multiplexing）[21]の研究を 1986 年頃から若手研究者たちと開始した．

OFDM は，CCETT [12]（Centre Commun d'Études de Télévision et Télécommunications）が次世代の携帯電話用変調方式として提案し採用されなかった変調方式であったが，EBU の最重要研究テーマ，DAB ユーレカ 147 として，秘密裏に研究が進められていた．1980 年代後半の技研の研究テーマは，ハイビジョンの研究が主であり OFDM の実験機器試作の余裕はなかったが，上層部への，将来を目指した研究の重要性の説得が功を奏して，技研の予備費を使うことができた．同僚たちと OFDM の実際の性能を確認するため，独自の 3.5 MHz の OFDM 試験装置の仕様策定と試作に取り掛かった．メーカ単独の力では，装置を完成させることができず，担当者が工場へ付きっきりで指導に当たり最初の試作機を完成させた．

1993 年に技研鉄塔に実験局を新設し，5 月の技研公開時に世界で初めてテレビの移動受信を公開した．OFDM の変調方式と（272,190）符号，時間軸インタリーブの組合せにより走行中の車でも全く画面の乱れないディジタルテレビの実現をアピールすることができた．技研内外の見学者たちから，なぜテレビを移動で見なければならないのかの疑問の声が揚がっていた．ちなみに，欧米の地上デジタル TV 放送，ATSC [13]（Advanced Television System Committee），DVB-T [14]（Digital Video Broadcasting-Terrestrial）とも移動受信は全く考慮しておらず，最近になって ATSC を改良した MPH [15]（Mobile Pedestrian Handheld），DVB-T とは違ったシステムである DVB-H [16]（DVB-Handheld）や DVB-T2 [17] などの移動受信をカバーする新しい方式の提案がなされている．

1994 年に当時の郵政省と協議し，日本のデジタル放送をどうするかの審議体制の整備を行った．その結果，総務省内にデジタル放送システム委員会を設置し，圧縮技術などメディアに共通な技術を審議する共通事項，地上デジタル，衛星デジタル，ケーブル，音声放送などの作業班が設置され，具体的な技術に関しては，ARIB [18]（Association of Radio Industries and Businesses）が受け皿になり，方式の開発に当たることになった．

筆者は，デジタル放送委員会の共通技術，地上デジタル，衛星デジタル作業班のメンバとして，また，ARIB地上デジタル放送開発委員長として，我が国のデジタル放送の方式確立に努力してきた．

郵政省での議論が始まった1994年以降地上デジタル放送開始までの研究開発経緯を図8に示す．日本の地上デジタル放送ISDB-Tは，NHK技術が一体となり技研の多くのメンバが，郵政省，民放，メーカ等と共同で，セグメントを基本とする方式開発，サービスエリア測定，SF機能確認，アナログ-アナログ周波数移行，チャネルプラン，全国11か所での実用化実験，方式の運用ガイドの設定等々の作業を進め，2003年12月実用化に至った．

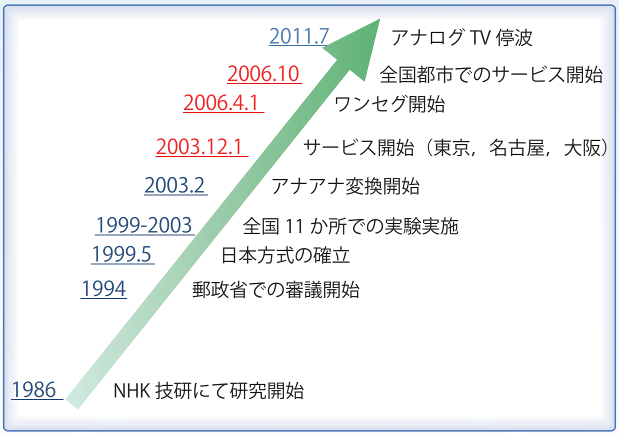


図8　ISDB-T実用化までの道のり

筆者を支えた技術［22］，［23］

長い研究者生活を通して，筆者を支えた主要技術は，誤り訂正技術とディジタル変復調技術だったように思う．誤り訂正技術は上述のとおりであるが，ディジタル変復調技術に関しては，1984年頃から勉強し始めた．当時のディジタル変復調は，NTTは携帯電話，KDDは衛星通信の分野で独壇場だったが，放送分野特有の伝送路特性とシステム要求条件に合致した変調方式の研究が必要と考えていた．当時国内には全くこの分野の専門書はなく，NTTとKDDの研究者たちが発表した信学技報を教材とさせて頂いた［24］．

1980年代は日本の経済力は非常に強く，日本の政治家の"移民により米国は技術力が低下し駄目になった"の発言に対し，米国では激しい日本製品不買運動が起こっていた．日本企業の米国国内での急速な伸びが背景にあった．筆者は全く反対に，"米国の技術力は偉大"との感じを持っていた．日本にはないディジタル変復調の専門書がIEEEなどから多数出版されていたからである．4，5冊購入［25］した中に，大学の教授が分厚い本を一人で執筆しているものがあり，米国人の技術の蓄積とパワーに驚かされた思い出がある．

海外普及活動

研究開発担当者が海外への普及活動をせず，そのシステムが日本国内でしか使用されないことになった場合には，将来必ず海外普及活動の有無が問われることになると考えていた．文字放送とFM多重放送，BSデジタル放送に関しては，日本以外にも使ってもらえるよう努力してきたが，成功しなかった．

地上デジタル放送に関して，欧州がDigiTAG[19]（Digital Terrestrial Action Group）を組織してDVB-Tの普及活動に力を入れていたことを知り，1996年郵政省と協議し我が国の地上デジタル放送ISDB-Tを普及させるための組織DiBEG[20]（Digital Broadcasting Expert Group）をARIB内に設けた．筆者は，1997年からDiBEGの下NAB[21]（National Association of Broadcasters），IBC[22]（International Broadcasting Convention），BroadcastAsia，シンガポール，香港，中国，ブラジルなど各国へのISDB-TのPR活動を推進してきた．現時点で，コロンビアを除く南米諸国，中南米のコスタリカ，フィリピンなど11か国がISDB-Tの採用を決定し，アフリカのアンゴラ，コンゴ，ボツアナなどが採用を検討している．

海外普及活動の詳細は，種々報告されているので別誌［26］に譲るとして，最も重要なのは，相手国の技術者たちとの胸襟を開いた相手国の利益を考えた対応であろう．世界で最初にISDB-Tの採用を決定したブラジルの場合は，TVGloboの技術責任者F. Bittencourt氏を味方に付けたことが大きかった．あまり知られていないが，彼は数少ない外国人ハイビジョン伝道師だった．NHKが収録した1998年のフランスW杯サッカーのハイビジョンをブラジルで初めて展示している．2000年のシドニーオリンピックでは，NHKのハイビジョン中継の現場を見学し，TVGloboがハイビジョン放送を開始するときの問題点を熱心に勉強していた．2002年日韓開催W杯サッカーで優勝したブラジル選手たちのハイビジョン映像もブラジルで展示し

ている．デジタル放送でハイビジョンを実施しない場合はディジタル化の意味はないとも表明していた．

筆者は 1998 年に F.Bittencourt 氏に招かれ，ブラジル TV 学会 SET[23]（Society of Engineering of Television and Telecommunications）で初めて ISDB-T を紹介し，移動受信の重要性を説明した．その後，TVGlobo の技術者たちが中心となり，日米欧 3 方式を比較し，2000 年の NAB での SET 大会で，ISDB-T が最も優れていることを世界で初めて発表した．ブラジルは，2006 年に ISDB-T の採用を決め，2007 年 12 月にサービスを開始した．2007 年に Bittencourt 氏は上記功績により映情学会特別功労賞を受賞している．

マネジメント［27］

研究者として研究に没頭できる期間は案外短い．部下を持った時点で仕事の内容は一変する．誰もが経験するように，一人で研究を担当する方がずっと楽である．すなわち，部下を持った上司が問われるのは自分で研究することではない．いかに多くの研究テーマを部下に与えることができるか，いかに将来の組織のために多くの優秀な人材を育成できるかである．管理者は，ピータの法則に陥らないよう，各ポジションで全く異なる困難な業務内容を達成させなければならない（表 2）．

表 3 に示すように，組織の長として多くの改革を実施してきた．具体的な方法論は種々考えられるが，研究所マネジメントの要諦は，長期的な視点を基本に，組織の透明性を確保する，好き嫌いで人を使うのでなくメンバ全員の能力を最大限発揮させる，方向性を合わせる，チームワークを発揮させることと考える．

表 2　研究開発機関での職位と職務

	研究員	主任研究員	部長	所長
技術を極める	○	○	○	○
部内外活動	○	○	○	○
特許取得	○	○	○	○
部下の育成，PR，何人育てたか		○	○	○
研究テーマ創出，何件テーマを与えたか		○	○	○
人への興味，部下の適性把握		○	○	○
専門外テーマにも精通			○	○
外部との連携			○	○
テーマのスクラップ＆ビルド			○	○
企業・研究所の中長期ビジョン				○
他社，政府，他国への働きかけ				○
マネジメント哲学構築と実施				○

表 3　組織リーダとして新たに実施した主な施策

1997	（1）部長以上全員参加で議論し，組織改正と組織のフラット化を実行 （2）技研の経営ビジョン作成
1999 ～ 2002	（1）適材適所断行による大幅な異動 （2）海外研究者受け入れ制度化 （3）英文機関誌定期発刊 （4）所長・次長により，年間を通して研究テーマを議論する研究戦略委員会発足 （5）技研出身大学教授との交流会 （6）技研中長期ビジョン策定公表（3 本柱）
2002 ～ 2007	（1）新規研究テーマ探索プロジェクト発足 （2）裁量労働制度導入 （3）研究者評価制度改革 （4）360 度評価制度導入 （5）風土改革実施 （6）新規事業化プロジェクト発足 （7）毎月 1 回の「本部長トーク」による全社員への考え方の周知

将来へ向けて

手掛けた研究は多くのものが実用化になり，結果として大変恵まれていた．一方で，FM 多重放送，BS デジタル放送，地上デジタル放送は，研究開始当時は，あまり注目を集めない全体方針と反対方向の研究テーマであったため，研究の開始，推進，成果の PR 等々多くの困難に遭遇してきた．2000 年に研究を開始したスーパハイビジョンもほとんどの人は反対であったが，他社がハイビジョン以上の品質のテレビとして 2,000 本ディジタルシネマを 1980 年代後半から研究を始めている状況の中で［27］，次の 4,000 本テレビは技研が世界に先駆けて研究を推進しなければならないとの思いがあった．また，より困難な技術に挑戦すれば現行ハイビジョンの性能も向上すること，新聞紙面をテレビで見ることができるなど，放送以外への応用等々も研究スタートの理由だった［29］．1990 年代から開始した地上デジタル放送の海外展開に関しては，地球の裏側のブラジルが日本の方式を採用するなどあり得ないというのが一般的な考えだった．

システムの研究開発は，物性的な研究とは異なり，それが唯一の解ではないため，周囲への説得，国際規格化等々余分と思える労力が必要である．また，ここで述べたような研究はあくまで手段であり，最終目的は多くの人々に使ってもらうことであることを考えると，海外普及活動は研究の終着点であろう．

科学技術が進展する限り，放送技術の研究開発に終わりはない．最新技術に最も感度の高いアンテナを有

しているのは管理者ではなく現場の若い研究者たちである．若手研究者には，上司から言われたことではない独自の考えに基づく上司も反対するような難しい研究テーマへのチャレンジ精神を，管理者たちには，若手研究者の反骨精神を受け入れる長期的視点での人材育成と組織運営を期待する．

むすび

NHK での 35 年間にわたる放送技術研究との関わりについて紹介した．常に全体方向と反対で，見方によっては天の邪鬼なところがあり上司としては扱いにくい部下だったのではないかと思う．逆に言うと，筆者のこだわり全てを受け入れてくれた NHK の包容力によるところが大であった．

子供のときから凝り性でいろいろ手掛けたが，最終的には趣味の野球と，仕事の研究が残った．やればできると分かっていることには興味がなく，誰も手掛けない困難な課題にトライする研究が，好きで，好きでたまらなく，振り返ってみるとある意味で研究も趣味だったとの感じもする．

最後に，多くの優秀な同僚と部下の協力があったことを記しお礼を申し上げる．また，筆者を育てて頂いた NHK，総務省，ARIB，民放，メーカ，NTT や KDD などの関係機関，大学の関係者の方々へ，深く感謝する次第である．

［用語解説］

1）**SCA**（Subsidiary Communications Authorization）：FM 放送の補助通信業務，FM ステレオベースバンド信号に FM 変調した音声信号を多重し，主にモアチャネルの音楽放送サービスとして利用されていた．

2）**PI**（Public Information）：スウェーデンが実施していた FM 多重放送を利用したページングサービスで，RDS は同じ伝送方式を使用している．

3）**RDS**（Radio Data Service）：欧州放送連合が開発した車載用 FM 多重放送で PI システムが基になっている．副搬送波周波数は 57 kHz．情報ビットレートは約 0.7 kbit/s で FM 放送局の局名などをサービスしている．

4）**CCIR**（International Radio Consultative Committee）：国際無線通信諮問会議．無線に関する国際的な取決めを行う．現在の ITU-R に相当する．

5）**EBU**（European Broadcasting Union）：ヨーロッパ放送連合．欧州各国の放送局が加盟．

6）**LMSK**（Level Controlled MSK）：日本の FM 多重放送 DARC 用に開発された特殊な変調方式．FM ベースバンド信号の（L-R）変調信号からの漏話を避けるため，（L-R）のレベルが高いときには，多重信号 MSK 信号の多重レベルを上げる．

7）**DARC**（DAta Radio Channel）：日本の FM 多重放送の名称．

8）**ISDB-S**（Integral Services Digital Broadcasting-Satellite）：日本の衛星デジタル放送システム．日本のデジタル放送は，統合デジタル放送 ISDB として共通の概念の下，開発されてきた．地上は ISDB-T，ケーブルは ISDB-C がある．

9）**SS**（Spread Spectrum）：周波数拡散通信方式．元の信号より広い帯域幅に拡散させて送信することによって拡散利得が得られる．無線 LAN の IEEE 802.11 シリーズや Bluetooth，CDMA（Code Division Multiple Access）方式携帯電話に採用されている．

10）**DAB**（Digital Audio Broadcasting）：1980 年代にユーレカ 147 として欧州全体で開発した移動体用デジタル音声放送システム．1985 年からサービスが始まっている．

11）**OFDM**（Orthogonal Frequency Division Multiplexing）：周波数直交関係にあるマルチキャリヤを使用した通信方式．欧州の DAB，日欧の地上デジタル放送，IEEE802.11a などの無線 LAN（Local Area Network）などの伝送方式に採用されている．

12）**CCETT**（Centre Commun d'Études de Télévision et Télécommunications）：フランス・レンヌにある国立放送通信研究所，OFDM を DAB に初めて応用した．

13）**ATSC**（Advanced Television System Committee）：米国のデジタルテレビ方式．シングルキャリヤであるため，ゴースト妨害に弱い．1998 年 11 月からサービスを開始している．

14）**DVB-T**（Digital Video Broadcasting-Terrestrial）：欧州の地上デジタル放送システムで 1998 年 9 月からサービスを開始している．OFDM を使用しているのでゴースト妨害には強いが，時間軸インタリーブ機能がないため，移動受信には適していない．DVB はデジタル放送のコンソーシアム．衛星は DVB-S，ケーブルは DVB-C 等がある．

15）**MPH**（Mobile Pedestrian Handheld）：ATSC 信号の一部に携帯受信用信号を挿入した新しいサービス．ATSC はもともとは移動・携帯用システムとして開発されたものではないためこのような措置が取られている．

16）**DVB-H**（DVB-Handheld）：DVB が開発した移動・携帯受信用地上デジタル放送．DVB-T とは両立性がない．

17）DVB-T2：DVB-T の次世代地上デジタル放送.
18）ARIB（Association of Radio Industries and Businesses）：電波産業会．通信・放送分野における電波利用システムの開発，普及を図ることを目的として設立された一般社団法人．メーカ等約 250 社が参加.
19）DigiTAG（Digital Terrestrial Action Group）：DVB-T と DVB-T2 の普及促進グループ約 50 社からなる.
20）DiBEG（Digital Broadcasting Expert Group）：ARIB 内に設置した海外への ISDB-T 普及促進グループ.
21）NAB（National Association of Broadcasters）：全米放送会議．世界最大の放送機器展，毎年 4 月にラスベガスで開催.
22）IBC（International Broadcasting Convention）：欧州での放送会議・放送機器展．毎年 9 月にアムステルダムで開催.
23）SET（Society of Engineering of Television and Telecommunications）：ブラジルのテレビジョン学会．日米欧の地上デジタル放送 3 方式の比較実験結果を世界で最初に公表した.

文　献

[1] NHK 放送技術研究所，研究史'90 ～ 99，April 2001.
[2] 沢村吉克，"将来における放送技術，" テレビ誌，vol. 26, no. 2, pp.82-87, Feb. 1972.
[3] NHK エンジニアリングサービス, 統合デジタル放送 (ISDB) に関する技術動向調査研究報告書，April 1987.
[4] 山根久吉，吉野武彦，柳町昭夫，"静止画放送実験システム，" テレビ誌，放送技術，vol. 30, no. 5, pp. 399-404, May 1976.
[5] W. W. Peterson and E. J. Weldon, Error Correcting Codes, 2nd Edition, The MIT Press, 1971.
[6] 今井秀樹，"技研に期待すること，" 技研便り，vol. 65, no. 12, p.1, Dec. 2004
[7] 磯部忠，柳町昭夫，山田宰 "文字コード放送の検討と実験，" テレビ学技報 , vol. 2, no. 13, pp. 17-24, Oct. 1978.
[8] 沢辺栄一，柳町昭夫，杉森吉夫，森下政信，"文字多重放送，" 信学誌，vol. 70, no. 1, pp. 35-58，Jan. 1987.
[9] O. Yamada, "Development of an error correction method for data packet multiplexed with TV signals," IEEE Trans. Commun., vol. COM-35, no.1, pp.21-31, Jan. 1987.
[10] 高田政幸，黒田徹，山田宰，山崎綱市，"光カードの誤り訂正方式の比較，" テレビ学技報，vol.17, no.32, pp. 19-24, June 1993.
[11] O. Makitalo, "Utilization of the FM broadcasting network for transmission of supplementary information," Radio Laboratory, Report RI 001/77, Swedish Telecommunications Administration, 1978.
[12] EBU, "Specifications of the radio data system RDS for VHF/FM sound broadcasting," Tech. 3244-E, 1984.
[13] 映像情報メディア学会，1-2 データ放送の変遷，50 年史 , pp. 68-73, Aug. 2000.
[14] 黒田徹，"移動受信用 FM 多重放送規格，" テレビ誌，vol. 47, no. 11, pp. 1525-1528, Nov. 1993.
[15] 加藤久和，斉藤知弘，武智秀，松村肇，"デジタル衛星放送用変調方式の検討，" テレビ誌，vol. 47, no. 10, pp. 1358-1366, Oct. 1993.
[16] 亀田耕造，"通信衛星を利用した PCM 音声放送，" NHK 技研 R&D, vol. 18, no. 2, pp. 9-17, Feb. 1992.
[17] G. Ungerboeck, "Trellis-coded modulation with redundant signal sets," IEEE Commun. Mag., vol. 25, no. 2, pp.12-21, Feb. 1987.
[18] 加藤久和，橋本明記，浜田浩行，峯松史明，松村肇，"衛星 ISDB 伝送方式の検討，" 情報学放送方式研資，vol. 21, no. 25, pp.1-6，April 1997.
[19] 羽鳥光俊，"ふぉーかす―放送のデジタル化―，" 映情誌，vol. 47, no. 5, p. 557，May 1993.
[20] R. C. Dixon 著, 立野敏 訳, スペクトル拡散通信方式, ジャテック出版，Nov. 1978.
[21] B. Hirosaki, "An orthogonally multiplexed QAM system using the discrete Fourier transform," IEEE Trans. Commun., vol. 29, no. 7, pp. 982-989, July 1981.
[22] 山田宰，"エラー訂正技術と変復調技術，" テレビ誌，vol. 47, no. 4, pp. 451-457, April 1993.
[23] 山田宰，"デジタル変復調（I），" テレビ誌，vol. 48, no. 7, p.876-885, July 1994.
[24] 室田和昭，平出賢吉，"GMSK 変調方式の伝送特性，" 信学技報，IEICE 81/10, pp. 1123-1130, Oct. 1981.
[25] K. V. Bhargava, D. Haccoun, R. Matyas, and P. P. Nuspl, Digital Communications by Satellite, John Wiley & Sons Inc., 1981.
[26] 布施田英生，"ICT 国際競争力強化のための ISDB-T 国際戦略，" 映情誌，vol. 62, no.11, pp. 1683-1685, Nov. 2008.
[27] 山田宰，"私の研究マネージメント論，" 信学誌，vol. 93, no. 6, pp. 499-505，June 2010.
[28] 小野定康，藤井哲郎，藤井竜也，"超高精細ディジタルシネマ，" 信学会基礎・境界ソサイエティ，vol. 3, no. 2, pp. 10-33，Oct. 2010.
[29] 竹間忠夫，夢のスーパーハイビジョンに挑む，NHK 出版，March 2005.

山田　宰（名誉員：フェロー）

1967 早大・理工・電気卒．NHK 入局．1971 ～ 2002 まで放送技研にて，文字放送，FM 多重放送，BS デジタル放送，地上デジタル放送の研究開発に従事．放送技術研究所長を経て 2002 からパイオニア株式会社に勤務．専務取締役を経て，2009 から早大客員教授．1990 代後半から地上デジタル放送の海外普及活動を推進．本会功績賞, 前島賞等受賞．IEEE フェロー，工学博士.

巻末言

フレキシビリティの挑戦

通信ソサイエティ会長　萩本和男

通信分野は電子情報通信学会の柱として，また，実社会の欠くべからざる基盤として，学術と産業の両面で著しい発展を遂げてきている．にもかかわらず，通信ソサイエティの会員数の減少傾向が続いているというのも事実であり，30 年前，工学部の中の花形分野から脱落しているとも聞くと寂しくなる．先日，通信方式研究会の 50 周年記念イベントに参加して，改めて，多くの学術分野・産業分野が育ったものだと感心し，自分の歳を感じざるを得ない歴史を感じている．過去の発展を改めて振り返ると，同軸ケーブル伝送方式から光ファイバ通信方式へ，固定無線から移動無線・携帯電話へ，アナログ処理からディジタル処理，コンピュータ基盤がメインフレームからパーソナル，そしてクラウド形に，等々，常識の打破が disruptive innovation を生み出したわけである．いずれも，当たり前のように身の回りにあり，結果として，“当然の流れ”と分析し理由づけられる．しかし，そのような普遍化する以前は，影も形もなく，怪しげな要素技術の可能性を論議していただけで，決して当たり前ではなく，むしろ，異端であったかもしれない．小さいながらも，私自身もそういう経験を何度かしていて，うまくいったものは，当たり前のように言われるが，苦労しているときにそう言ってほしかったものだと苦笑いをする．非常識が常識に変わるダイナミズムが，ビジネスモデルを変革し，ライフスタイルを変えていくのだと思うし，その真只中にいた緊迫感として，記憶に残っている．

現在の ICT 分野は，そのようなダイナミズムをはらみながら，閉塞感が付きまとうのは，やらなければならないと思っていることが多く，最も大事と思うことと実際に携わっていることとにアングルが付いているからではないだろうか．目の前の改善に追われ，見えている範囲の仕事に振り回されている焦りがあるのかもしれない．しかし，インターネットを始め世界がディジタルでフラットになっている中で，情報はすぐに共有されてしまう．ローカルなアドバンテージがグローバルな流れに飲み込まれてしまう．最初から，大きな枠組みを想定しないと戦略で遅れを取る．更に，ICT の個々の分野に特化した取組みに専念するあまり，それらを複合的に活用しながら，新たな価値を生み出し既存の枠組みを乗り越えていく“濁流のような勢いと蛇行しながらでも飲み込んでいく流れ”に飛び込めていない．しかし，いずれにしても，行き着くところは，世の中に新しいスタイルとして受け入れられるようなもので，そうでなければ，スケールしない．

通信ソサイエティでも，前述した通信方式研究会から，様々な分野が生まれ研究開発が進み，世の中に受け入れられているダイナミズムがあったし，今もって，そのマインドにより新たなチャレンジは続けられている．ただし，その枠組みは従来の形をはるかに超えることが多い．先日の 50 周年記念講演で，グーテンベルグの聖書の例を出したが，それまでは，記録は紙に手書きにて，絵や文で経験や知己を残してきた．その代表的な著作物がバイブルであり，最初の活字印刷にもバイブルが選ばれた．その後は，活字文化により，様々な知的財産が世の中に飛躍的に蓄積・流通してきた．この数年，まさに全ディジタル化により，全てサイバ上に保存され，加工され，流通・愛読される時代に変わろうとしている．サイバ上での生活が，「距離を超え」，「時間を超え」，「言語・文化すら超えて」，知的で生産的な“正しい”とみなされる環境を生み出す可能性を予感させる．もはや，社会現象であるので，我々も世の中の流れに飛び込んで，自らを進化させる活動が必要で，逡巡している場合ではないので，近い専門分野の議論から異分野との議論まで，学会という場を活用して，世の中の要請に応えたい．

日本の研究開発レベルは，個々に高いものを有していることは明らかであり，これを有機的に関連付けて，世の中の要請に応える活動に高めていくことが，産学連携の基盤となり，進んでリスクをとる研究活動の原点である．大いに好奇心を刺激し，様々な知見に触れて，個人の行動が触発されることで，「使っていない筋肉を使い，筋肉痛を克服して，しなやかな筋肉が培われる」ように，人間の行動の“フレキシビリティ”を高めることに，学会活動を利用してほしいし，そのような通信ソサイエティであってほしい．活動には，感性と慣性がつきものであるが，皆さんと力を合わせて，前に進めたいと新しい年度に念じている．

© 電子情報通信学会 2011

NEXT ISSUE

2011年秋号（第18号）　2011年9月1日 発行

小特集　グリーン化と IT の関係を考える

私の研究者歴　木村磐根

Editors Note

現在，日本が置かれている厳しい状況を見るにつけ，J. K. ガルブレイス氏の名著「不確実性の時代」を思い返すことになりました．本書は，主に経済学的な視点から記載されたものですが，今一度読み返し，日本を取り巻く諸課題を再認識できればと考えています．　（M. M.）

東日本大地震につきまして，被災された方にお見舞い申し上げます．今回，地域のコミュニティの大切さを再認識しました．一方で，海外から安否を心配する多くのメールが届き，グローバルな仲間の有難さ，そして，そのやり取りを可能とする通信の重要性も改めて感じました．　（H. S.）

現代社会は，砂上の楼閣だったのだろうか？　テクノロジーに頼りすぎてはいなかったか？　3 月 11 日．すさまじい爆音と夜空を染める紅蓮の炎の中，帰宅難民として 5 時間過ごした．つながらない携帯電話，なくなる電池．そして，悲鳴を上げる心臓．停電による漆黒と無音の闇の中に輝く星々．佇む者への希望となる星を作らねばならない．　（M. T.）

今回の大震災は，広い地域の方々が被災され，通信インフラストラクチャの弱さも浮き彫りになったように思います．小特集にもあるように，医療分野への ICT 技術の活用は，ますます進むように思います．防災・減災を含む，安心安全な社会への活用についても，着実に発展していってほしいと願います．助け合いの心とともに．　（Y. K.）

〈B-plus〉の編集委員になり 2 年が経ちました．定期的に発行される本誌の編集作業は慌ただしいですが，通信の様々な関連分野に触れることのできる良い機会でもあります．今回小特集を担当させて頂きましたが，医療技術の進歩と通信技術の重要性を改めて感じました．学生の通信離れが著しい今日この頃ですが，医療だけでなくいかに応用範囲を広げて考えるかがこれからの情報通信技術の研究に重要であると思います．　（T. M.）

〈B-plus〉の編集委員になって 1 年が経ちましたが，知識不足・勉強不足を実感することが多いので，新旧様々な技術を学ぶのに本誌はとても役立っています．学生の皆さんは，今のうちから本誌で通信技術に関する知識を勉強しておくと，いろいろな場面で大活躍すること間違いなしです．　（T. T.）

瀬戸内育ちのせいか海が好きです．泳ぐのもいいですが，何もせず，ただぼ～っと見ているだけがいいのです．夕方になると西の方に夕日が沈んで波間がキラキラするのもいい感じです．　（T. A.）

はじめまして．通 信之助とお通です．これから皆さんと一緒に，〈B-plus〉を通じて，「通信」を学んでいきたいと思います．よろしくお願い致します．

B-plus
IEICE
電子情報通信学会
通信ソサイエティマガジン
夏
2011/No.17

2011年5月25日 印刷　2011年6月1日 発行

EDITORIAL BOARD

編集委員長

山崎克之

編集副委員長

赤埴淳一　朝香卓也

編　集　委　員

ベンジャブール・アナス　岩井誠人　小野文枝
大槻知明　岡部寿男　翁長　久　神尾享秀
河東晴子　菊間信良　菊池典恭　木下和彦
佐波孝彦　庄木裕樹　関屋大雄　橘　拓至
辻　宏之　中村真帆　西本　浩　長谷川輝之
濱辺孝二郎　馬杉正男　松田崇弘　南　憲一
三宅　滋　山岡克式　吉田幸司

本誌の愛称は「B-plus」，正式名称は「通信ソサイエティマガジン」，「IEICE Communications Society Magazine」です．
本誌掲載論文を文献引用する際は，邦文略称「信学通誌」，英文略称「IEICE Commun. Mag.」を用いて下さい．

通信ソサイエティマガジン
B-plus へのお問い合わせ

□御意見，御要望：b-plus@ieice.org
□ホームページ
▶ http://www.ieice.org/cs/jpn/pub/magazine/
□ B-plus 年間購読のお申込みはこちら
▶ http://www.ieice.org/cs/jpn/pub/magazine/applicaitonform2.pdf

複写される方へ

本会は，下記協会に複写に関する権利委託をしていますので，本誌に掲載された著作物を複写したい方は，同協会より許諾を受けて複写して下さい．ただし，（社）日本複写権センター（同協会より権利を再委託）と包括複写許諾契約を締結されている企業の写真による社内利用目的の複写はその必要はありません（社外頒布用の複写は許諾が必要です）．

権利委託先：（社）学術著作権協会
170-0052　東京都港区赤坂 9-6-41 乃木坂ビル
Tel：03-3475-5618　Fax：03-3475-5619
E-mail：info@jaacc.jp

なお，著作物の転載・翻訳のような複写以外の許諾は，本会へ直接御連絡下さい（Tel：03-3433-6691）．
著作権利用許諾については▶
http://www.ieice.org/jpn/service/tensaitokkyo/

発行者／木暮賢司
発行所／（社）電子情報通信学会 通信ソサイエティ
105-0011　東京都港区芝公園 3-5-8　機械振興会館
Tel：03-3433-6691（代表）　振替：00120-0-35300
制　作／（株）エヌ・ピー・エス
111-0051　東京都台東区蔵前 2-5-4　北條ビル

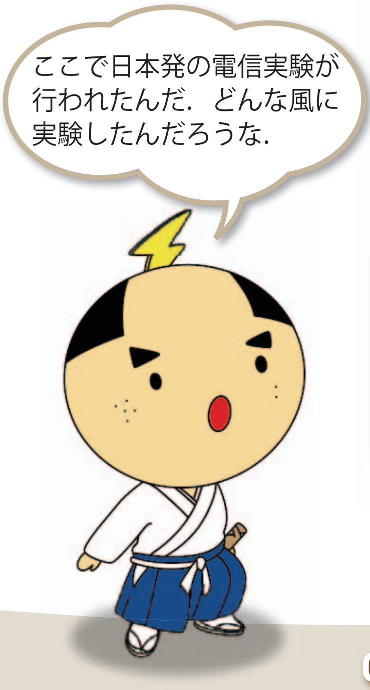
Ⓒ Copyright 2011 IEICE. All rights reserved.

通信がみえる一枚の写真

旧松代藩鐘楼

この鐘楼は嘉永 2(1849)年に佐久間象山が電信実験に成功した場所で「日本電信発祥の遺跡」です．佐久間象山はオランダの書物を参考に電信機を自作し，約 70 m離れた御使者屋との間で電信実験を行いました．旧松代藩鐘楼は昭和 43 年に長野市指定重要文化財に指定されています．

【眞田幸俊】（正員）



写真を募集致します！

マガジン編集委員会では「通信がみえる一枚の写真」をテーマに写真（電子ファイル（jpeg）あるいはプリント），タイトル，説明文（約 300 字）を募集致します．詳細は，通信ソサイエティマガジン HP（http://www.ieice.org/cs/jpn/pub/magazine/index.html）を御参照下さい．

送り先：

【郵　送】〒105-0011　東京都港区芝公園 3-5-8 機械振興会館内　電子情報通信学会通信ソサイエティマガジン担当

【メール】b-plus@ieice.org　までお送り下さい．

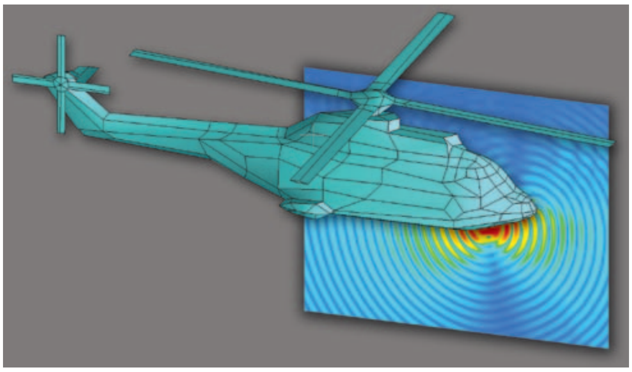
より速く、より高精度に、より使い易く…を目指して 高次基底関数モーメント法WIPL-Dは進化し続けます。

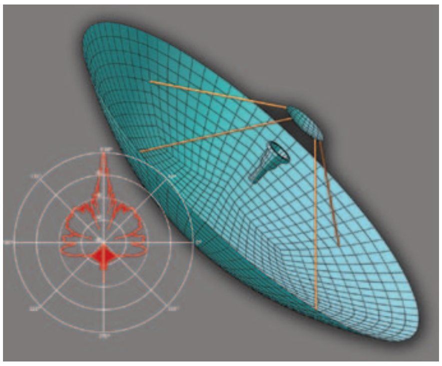
ver. 9で実現した項目は…

・解析対象に対称性がある場合、**励振が非対称でも対称面の適用**が可能になり、アンノーン数の逓減（半減）、解析時間の短縮化を実現
・**大きなプレートへの新メッシングアルゴリズムの適用**によりアンノーン数が20%逓減し、解析時間は50%短縮
・**エッジ処理への新アルゴリズムの適用**により高精度解析がより確実化
・**外部からインポートした電界磁界分布データ**で励振可能
・**外部からインポートした遠方界放射パターンデータ**で励振可能
・新規追加オプション　－GPU

GPUオプション（グラフィックカードを使用し、大規模問題の処理速度を加速）

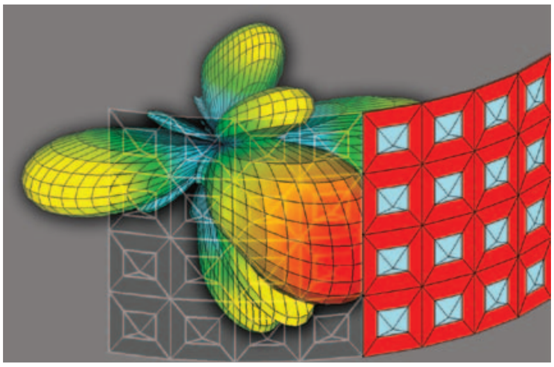
・**1枚の推奨GPUカードを使用した場合の加速の度合いは、**
　-Matrix solutionは約6倍（最大22倍）
　-Matrix fillは約3倍
　-Near fieldは約10倍
・**2～3枚の推奨GPUカードを使用した場合、Matrix solutionは更に2～3倍**
・**Matrix fill及び電磁界分布計算アルゴリズムの改善**によりエレメント（ワイヤ、プレート）が多い解析構造の解析時間が最大50%短縮
・**マルチコアマシンで動作した場合のMatrix fillの並列処理の改善**により4コアマシンで70～90%、8コアマシンで40～70%効率が向上
・**多数点励振**（モノスタティックRCS計算の方向角度、マルチポート構造のYZSパラメータ等）**をアウトコア処理する場合の処理方法の改善**（HDDからの行列の読みとり回数が1度のみで可）により解析時間の短縮が実現





・Preview画面上で**範囲選択によるズーム機能**
・**パワーバランス**の計算の設定が選択可能に
・Structure tree dialog boxの高機能化で、**treeから直接**、モデル構成要素の**作成、マニピュレーション、仕様の変更**が可能に
・モデル構成要素の表やPreview表示画面で**複数の要素を選択**し、**同時に削除、コピーや貼り付け**が可能に
・**Copy** Manipulationの機能拡張により**層構造のモデル作成**が容易に
・（ファイルマネージャーから）.iwpファイルをWIPL-D画面に**Drag-and-Drop**することでプロジェクトファイルを開くことが可能に
・（Objectに接続した）**R-V Wires/Plates**のVirtual Nodesを**Real Nodes**に変更可能に

・ドメイン設定の多様化と簡素化
　-**ドメインの名称化**が可能に
　-材料定数が**ユーザー設定のリストから名称で選択**可能に
　-ドメイン仕様が **"regular"、"composite"** から選択可能に
・**Objectの名称設定**が可能に
・グラフウインドーの高機能化
　-**64個までのデータの重ね描き**が可能に
　-**グラフ描画の線やドットの色、太さやスタイル**が選択可能に
　-**群遅延及び電位**の結果表示が可能に
　-2D及び3D**放射パターン表示にFitting**(Interpolation)の適用が可能に
　-Portオプションの**取り扱い可能ポート数が2,000**に拡大



高次基底関数モーメント法
WIPL-D software Japan
Makes a difference

WIPL-D(Japan),Inc.

〒343-0845 埼玉県越谷市南越谷1-26-9-203
TEL048-964-7741／FAX048-969-0138／E-mail：support@wipl-d.jp/
URL：http://www.wipl-d.jp/